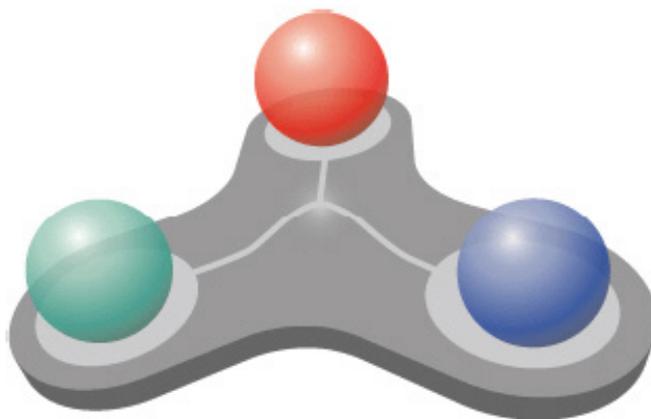


Master's Degree in Micro and Nanotechnologies for ICT Engineering

**Магистерская программа по микро и нанотехнологиям для ИКТ
(информационно-коммуникационные технологии)**



Отчет о прохождении обучения

Выполнил: Денисов А.А.

СОДЕРЖАНИЕ

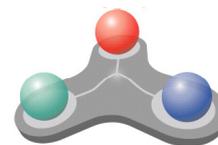
ОБЩЕЕ ОПИСАНИЕ.....	4
1-Й СЕМЕСТР – <i>POLITECNICO DI TORINO</i> , ИТАЛИЯ.....	5
1-я половина 1-го семестра.....	6
Вычислительная техника (2 кредита ECTS)	7
Введение в телекоммуникации (2 кредита ECTS).....	8
Физика технологических процессов и микросистемы (5 кредитов ECTS).....	9
Физика твердого тела (3 кредита ECTS)	11
Французский язык (2 кредита ECTS).....	12
2-я половина 1-го семестра.....	12
САПР и конструирование микросистем (5 кредитов ECTS).....	13
Характеризация технологических процессов (4 кредита ECTS)	15
Предпринимательство (3 кредита ECTS)	16
Полупроводниковые устройства (4 кредита ECTS)	17
Общее описание учебного процесса.....	19
Описание общежития.....	22
Путешествия по Италии.....	22
2-Й СЕМЕСТР – <i>INSTITUT NATIONAL POLYTECHNIQUE DE GRENOBLE (INPG)</i> , ФРАНЦИЯ.....	23
Предметы по выбору.....	27
Лабораторные работы по биочипам (2 кредита ECTS).....	27
Биоэлектроника: биосенсоры и биочипы (2 кредита ECTS).....	28
Магнитные микросистемы (1 кредит ECTS).....	29
Физика микрофлюидных систем (1 кредит ECTS).....	30
Молекулярная биология (2 кредита ECTS).....	31
Блок «Микротехнологии».....	32
САПР микросистем (1 кредит ECTS)	32
От микро к наноэлектронике (1,5 кредита ECTS)	33
Основы микросистем (2 кредита ECTS).....	34
Литография следующего поколения (1,5 кредита ECTS).....	36
Блок «Микроэлектроника»	37
Разработка аналоговых интегральных схем (2 кредита ECTS).....	37
Разработка цифровых интегральных схем (2 кредита ECTS)	38
Лабораторные работы по микро и наносистемам (3 кредита ECTS).....	39
Блок «Нанофизика – наноструктуры»	47
Микроскопия следующего поколения (2 кредита ECTS)	47
Наноструктуры: физика и транспорт (2 кредита ECTS)	48
Наноструктуры для оптического и магнитного применения (2 кредита ECTS)	49

Другие предметы	50
Французский язык (2 кредита ECTS).....	50
Английский язык	51
Проект по микро и нанотехнологиям (2 кредита ECTS)	51
Интеллектуальная собственность (1 кредит ECTS)	53
Общее описание учебного процесса.....	54
Описание общежития.....	55
Путешествия по Франции.....	56
СПИСОК КУРСОВ ЗА 1-Й ГОД.....	57

ОБЩЕЕ ОПИСАНИЕ

Проводится совместно тремя ВУЗаами Европы:

1. *Politecnico di Torino* (Политехнический институт Турина, Италия),
2. *Institut National Polytechnique de Grenoble (INPG)*, Национальный политехнический институт Гренобля, Франция),
3. *Ecole Polytechnique Federale de Lausanne (EPFL)*, Федеральный политехнический институт Лозанны, Швейцария).



Логотип программы

Со стороны каждого ВУЗа есть куратор, ответственный за проведение программы в своем ВУЗе (организация учебного процесса, расписание, экзамены и любые другие вопросы, которые могут возникнуть у студентов, например письма для оформления визы, регистрации по месту пребывания и пр.)

Язык обучения – английский.

Длительность программы – 2 года (2006-2008 гг.)

1-й семестр – Италия, 2-й – Франция, 3-й – Швейцария, 4-й – подготовка и защита дипломной работы (выбор места подготовки не ограничивается, это может быть как лаборатория одного из 3-х ВУЗов, так и совершенно другой ВУЗ или даже предприятие).

Состав группы: 41 человек (20 французов, 11 итальянцев, 5 китайцев, 2 индийца, 1 киприот, 1 швейцарец, 1 русский).

Официальный сайт в Интернете: <http://www.master-nanotech.com/>

Краткое описание:

http://didattica.polito.it/pls/portal30/sviluppo.offerta_formativa.corsi?p_sdu_cds=37:732&p_lang=EN&p_tipo_cds=2

Список предметов:

http://didattica.polito.it/pls/portal30/gap.a_mds.espandi?p_a_acc=2008&p_lang=EN&p_id_cdl=1552&p_sdu=37&p_cds=732

В Европе введена система кредитов (*ECTS - European Credit Transfer System*, Европейская система трансферта зачетных единиц).

Официальный сайт:

http://ec.europa.eu/education/programmes/socrates/ects/index_en.html

Подробное описание на русском языке: <http://www.msu.ru/innovation/nmo/kredit-in.rtf>
(стр. 5-17)

Вся программа – 120 кредитов, по 30 кредитов на каждый семестр.

1-Й СЕМЕСТР – *POLITECNICO DI TORINO*, ИТАЛИЯ

Система образования в Италии (вкратце):

<http://international.polito.it/en/courses/>

Адрес Интернет-сайта *Politecnico di Torino*: <http://www.polito.it/index.en.php>

Для иностранных студентов (как поступить, список курсов, практическая информация и история университета): <http://international.polito.it/en/>



Логотип
Politecnico di Torino

Из истории университета

(<http://international.polito.it/en/about/history.html>): *Politecnico di Torino* был основан приблизительно в середине 19-го века. *Regio Politecnico di Torino* (Regio – королевский) возник в 1906 г. при объединении *Scuola di Applicazione per gli Ingegneri* (школа применения инженерных кадров) и *Museo Industriale Italiano* (промышленный музей Италии, основанный в 1862 г.). Целью *Politecnico di Torino* была (и является) подготовка инженеров и архитекторов и продвижение учебы и научной деятельности для промышленного и экономического развития страны.



The Valentino Castle

На фотографии – главный корпус университета – *The Valentino Castle*. Сейчас там находится администрация и архитектурный факультет. Это очень красивое здание, находящееся на берегу реки По.



Река По

На фотографии ниже приведен наш корпус.



Здание научно-исследовательского корпуса

Не самая удачная фотография, да и само здание ничего особенного не представляет. К сожалению, очень много фотографий университета, а также его внутренних помещений было утеряно в связи с выходом из строя жесткого диска ноутбука.

Несмотря на то, что программа обучения на английском, в группе хорошо на нем говорят очень немногие. Жители Турина знают язык очень плохо. Преподаватели, конечно, говорят на английском, но в целом – картина печальная. Поэтому на вопрос «Каков уровень преподавания по сравнению с Российским?» уже можно дать часть ответа: возможно, преподаватели хорошо знают свой предмет, но объяснять его на неродном языке им сложно.

В университете весьма много различной информации (наверное, весьма полезной и интересной) (в том числе анкеты, о которых позже) – но всё на итальянском. Хорошо, что офис *Incoming Mobility Students* для иностранных студентов, приехавших в *Politecnico di Torino*, выпустил книжечку «*Survival Guide for International Students*» на английском, в которой расписано все, что может понадобиться в первое время.

1-я половина 1-го семестра

Семестр делится на две части. В конце каждой – экзамены.

Лекции: 18 сентября 2006 г. – 3 ноября 2006 г.

Экзамены: 6 ноября 2006 г. – 17 ноября 2006 г.

Для иностранных студентов были организованы двухнедельные курсы интенсивного итальянского языка – с 7 сентября.

Расписание на первую половину первого семестра:

Politecnico di Torino - Orari di Lezione di Ateneo

Torino - III FACOLTA' DI INGEGNERIA - CORSO DI LAUREA SPECIALISTICA IN NANOTECNOLOGIE PER LE ICT
(TO/Grenoble/Losanna) - TO - P.D. I Periodo - 1 Anno

	8.30-10.30	10.30-12.30	12.30-14.30	14.30-16.30	16.30-18.30
Понедельник	01JCJGH - 10D A-Z PROF. TORCHIANO	01JCJGH - 10D A-Z PROF. TORCHIANO			
Вторник	01KEDGH - 1M A-Z PROF. COCUZZA	01KEDGH - 1M A-Z PROF. COCUZZA		02JDJGH - 2 I A-Z PROF. ALLIA	02JDJGH - 2 I A-Z PROF. ALLIA
Среда	07BMKGH - 8D A-Z PROF. DOCENTE	07BMKGH - 8D A-Z PROF. DOCENTE		01KEDGH - 10 I A-Z PROF. COCUZZA	01KEDGH - 10 I A-Z PROF. COCUZZA
Четверг	01JDLGH - 10 I A-Z PROF. BOSCO	01JDLGH - 10 I A-Z PROF. BOSCO		07BMKGH - 8D A-Z PROF. DOCENTE	07BMKGH - 8D A-Z PROF. DOCENTE
Пятница					

Код курса	Название
01JCJGH	Вычислительная техника
01JDLGH	Введение в телекоммуникации
01KEDGH	Физика технологических процессов и микросистемы
02JDJGH	Физика твердого тела
07BMKGH	Французский язык

Со стороны *Politecnico di Torino* этой магистерской программой занимается третий инженерный факультет.

Как видно из расписания, всего 5 предметов: 4 основных + иностранный язык. Расписание в течение полу-семестра не меняется. У студентов есть возможность выбрать, какой язык изучать: итальянский или французский. На первом семестре дополнительных предметов (которые можно выбрать) нет (они появляются со второго семестра). По каждому предмету в конце полу-семестра – экзамен. Пятница – свободный день :-)

Пара лекций – это 4 астрономических часа, что достаточно утомительно. Пары обычно заканчиваются минут на 20 раньше + два перерыва во время пар (15 и 10 минут).

Большинство экзаменов – тесты, но не все одинаковые. Итальянская система образования подразумевает 30 бальную шкалу (далее X/30 будет означать оценку X из 30 максимально возможных). Для того чтобы экзамен был засчитан необходимо набрать хотя бы 18. В случае провала – пересдача (для 1-го семестра – это в начале февраля). Максимальная оценка – “30”, но также можно получить “30L”, где “L” означает “lode” – похвала. Для каждого предмета назначается две даты экзамена, среди которых можно выбрать только одну. Экзамены проходят в течение двух недель, но можно выбрать даты и сдать все экзамены на первой неделе, а потом неделю отдыхать.

Вычислительная техника (2 кредита ECTS)

Цель (перевод с сайта):

Изучение основ объектно-ориентированного программирования на примере языка программирования *Java*

Программа курса (перевод с сайта):

- Введение в объектно-ориентированный подход
- Язык программирования *Java*:
 - Основы
 - Концепция классов: инкапсуляция, наследование, полиморфизм, перегрузка, привязка
 - Использование сложных структур данных: коллекции (*array, list, set, map*), итераторы

- Обработка ошибок и исключение: *Try* и *Catch, Throw* и *throws*
- *Swing*
- Система ввода/вывода в языке *Java*
- Взаимосовместимость
- Средства разработки для *Java*
 - *SDK Eclipse*

В конце курса – экзамен (2 часа). Надо написать программу и отправить ее на сервер. Можно пользоваться любыми печатными материалами. Никакой электроники.

Профессор прогоняет программу через специальные тесты и ставит предварительную оценку. Затем высылает тесты студентам, чтобы те могли внести изменения в программу. Профессор смотрит на изменения и добавляет определенное число баллов – окончательная оценка.

Описание лабораторий и аудиторий – чуть ниже.

Вывод:

Моя оценка: 30L/30 (программа сразу прошла все тесты, и я не вносил никаких изменений).

На мой взгляд, данный предмет, в том виде, в котором он был представлен, бесполезен. *Java* – гораздо более мощный язык и обладает значительно большими возможностями. Нам рассказали лишь основы, которые реально изучаются за один-два вечера, не уделив внимание самому главному – принципам построения приложений и различным платформам (*J2SE, J2ME, J2EE*), которые определяют сферу применения этих приложений. Например, я хотел узнать, каким образом создавать веб-приложения не только с точки зрения синтаксиса *Java* и его основных конструкций (классов и пр., что нам преподавали), а с точки зрения, как развернуть это приложение на сервере и заставить его работать.

Введение в телекоммуникации (2 кредита ECTS)

Цель:

Изучение основ простых коммуникационных систем, основываясь на предыдущих знаниях сигнальной теории.

Программа курса:

- Обзор телекоммуникационных систем: элементы коммуникационных систем (источник, передатчик, канал, приемник, место назначения), аналоговые и цифровые форматы модуляции (амплитудная, фазовая и частотная модуляция), распространение сигнала по кабелям и беспроводным способом (витая пара, коаксиальный кабель, оптоволокно, СВЧ радиосвязь, спутниковые коммуникации), введение в телекоммуникации в сенсорных системах (проводная и беспроводная передача, стандарт *ZigBee*).
- Краткое введение в тепловой шум, соотношение сигнал-шум, спектральную эффективность и межсимвольную интерференцию (теорема Найквиста).
- Монополосная передача (двоичная амплитудная модуляция): оценка вероятности ошибки как функции формы передаваемого импульса и формы фильтра приемника. Производительность согласованного фильтра.
- Цифровая модуляция: геометрическое представление сигналов, производительность «оптимального» приемника для многоуровневых амплитудной и фазовой манипуляций.

Практические занятия:

Решение задач по оценке спектральной плотности мощности, оценке максимальных общих искажений, оценке производительности двоичных монополосных систем передачи и цифровых модуляций. Лабораторные работы численного анализа, короткий проект.

Никаких лабораторных занятий и проектов не было. Просто решали задачи-примеры прямо на лекциях, точнее преподаватель решала.

Вывод:

Моя оценка: 24/30. На экзамене надо было решить две задачи за 1 час. Задачи не очень сложные, но времени **очень** мало, т.к. задачи объемные. Пользоваться можно было только листиком с формулами, который составил преподаватель, и калькулятором.

Физика технологических процессов и микросистемы (5 кредитов ECTS)

Цель:

Изучение основ технологии микроэлектроники и производства микросистем

Программа курса:

- Микроэлектронные технологии: подготовка подложек, кристаллические дефекты, эпитаксия, *CVD* (*Chemical vapor deposition* – осаждение из газовой фазы) и *PVD* (*Physical vapor deposition* – технологии распыления) диэлектрических и проводящих пленок, оксидирование, диффузия и имплантация, литография (оптическая, рентгеновская, электроннолучевая, ионнолучевая), сухое травление и травление в жидкости, очистка подложек, металлизация, технологии конечной стадии производства (пассивация, химическая механическая полировка, проволочный монтаж, присоединение кристалла, сборка и герметизация и др.), КМОП технология, технология чистых комнат.
- - Введение в микросистемы: ключевые факторы, преимущества, размеры, масштабирование, история, применения, потенциальные материалы для микросистем: виды материалов, новые технология, мотивация, структуры с высоким соотношением размеров, проблемы адгезии и поверхностные эффекты, механические напряжения, виды подложек.
 - Объемная обработка (*Bulk micromachining*): передняя и обратная сторона, анизотропное травление, p^{++} метод остановки травления, электрохимический метод остановки травления, газовое травление, сухое травление, *DRIE* (*Deep reactive ion etching* – глубокое реактивное ионное травление).
 - Поверхностная обработка (*Surface Micromachining*): структурные и расходоуемые (*sacrificial*) материалы, примеры, прилипания и методы борьбы с ним, навесные (шарнирные) микроструктуры.
 - Микрообработка *LIGA* (нем., “*LP*” = *Lithographie* (литография), “*G*” = *Galvanoformung* (электроосаждение), “*A*” = *Abformtechnik* (штамповка)): принципы, резист, рентгеновское излучение, сканнеры, электроосаждение, микроштамповка и горячее тиснение, примеры устройств, регистр *SU-8*, «гибкая» литография (*soft-lithography*), микроштамповка, *HEXSIL*.
 - Соединение подложек: принципы, анодное, соединение оплавлением, стеклокерамический, эвтектический методы соединения, соединение на клею, примеры применения, оборудование.

- Другие технологии: гиперзвуковая обработка, пескоструйная обработка (*powder blasting*), лазерная обработка, микроэлектроэрозионная обработка, технология *FIB (Focused ion beam* – сфокусированный ионный пучок), микро стерео литография, электронно-лучевая и СЗМ литография.
- МЭМС предприятия и коммерческие технологии: предприятия и принципы работы, процессы *MUMPS, SUMMIT, MOSIS*, концепция распределенных мощностей и многопроектных подложек (*Multi-Project Wafer*), интеграция МЭМС.
- Упражнения и лабораторные работы.

Самый важный предмет в этом полу-семестре (см. число кредитов). И самый интересный. Очень похож на наш курс «Технологические процессы микроэлектроники» (кафедра ИУ4), только более подробно и не читают устаревший материал. В этот предмет также входит раздел по микросистемам (МЭМС).

Как видно из расписания – на предмет выделяется по 8 часов в неделю.

Никаких упражнений и лабораторных не было. Просто лекции – слушать очень интересно.

Из предыдущей версии отчета: «Профессор – самый лучший из всех. Видимо, у него очень большой практический опыт. Это не удивительно, т.к. под Туринном находится просто невероятного размера лаборатория (*Materials and Microsystem Laboratory of Chivasso, г. Кивассо*), оборудованная всем, чем только можно. Жаль, что нам её показывать пока не собираются, но я постараюсь пробиться туда. Интересно, что этот профессор поедет с нами в Гренобль (Франция) и там будет читать курс, целиком посвященный МЭМС».

Новая версия (с учетом всего первого года обучения): профессор – действительно самый лучший, но только из итальянских. Опыт у него очень большой, т.к. он занимается практическими исследованиями. Лаборатория под Туринном (20 мин. на электричке) оказалось



Профессор Mateo Cocuzza



Установка PE-CVD

совершенно не «невероятного размера», а как раз наоборот. Чистая комната (класса 1000 + маленькое помещение класса 100 для литографии), в которой есть установка *PE-CVD (Plasma Enhanced CVD*, осаждение из газовой фазы, стимулированное плазмой), установка ионно-плазменного напыления (если не ошибаюсь), пара оптических микроскопов, литографическая установка и сканирующий электронный микроскоп, а также другие небольшие установки и приборы. Вот и вся лаборатория.

Ездили туда всего один раз на 1-1,5 часа – т.е. получилась небольшая экскурсия. Экскурсию вел один из старших ассистентов – рассказывал очень скучно основы *PE-CVD*. К сожалению, собственных фотографий не сохранилось по причине выхода из строя ноутбука, поэтому приведенные фотографии – с сайта лаборатории.

Профессор с нами в Гренобль (Франция) не ездил, а приезжал всего 4 раза и устраивал лекции на целый день (по 8 часов). Подробности – см. 2-й семестр.



Установка оптической литографии и сканирующий электронный микроскоп



Оптический профилометр

Вывод:

Самый полезный и интересный предмет в этом полу-семестре.

Моя оценка – 30/30. Подход к экзамену, на мой взгляд, самый лучший. Времени отводится 1 час. В задании 2 части – тесты и открытые вопросы. Решить все – физически не хватит времени (я почти успел). Поэтому надо выбирать, что делать в первую очередь, а что потом (напротив каждого вопроса стоит число баллов). За неправильный ответ баллы не снижают; больше всего ценятся открытые вопросы. Пользоваться ничем нельзя.

Описание лаборатории: <http://www2.polito.it/ricerca/micronanotech/Chivasso/Chivasso.html>

Из предыдущей версии отчета: «*Турин (район Пьемонт, Италия) считается одним из самых финансируемых регионов Европы по нанотехнологиям*». Не знаю, как обстоят дела в плане финансирования, но по оснащению лабораторий, да и по их числу, Италия значительно отстает от той же Франции. Однако это не мешает им успешно вести научную деятельность и участвовать со своими проектами в международных программах: 2 проекта общей стоимостью более 8 млн. евро в рамках 7-й рамочной программы ЕС в мае 2007 г.

Физика твердого тела (3 кредита ECTS)

Цель:

Изучение основ физики твердого тела, необходимых для разработки технологических процессов создания микро и наноструктур.

Программа курса:

- Обзор электронной зонной структуры, концепции. Электронные состояния, механизмы проводимости в металлах и полупроводниках. Роль интерфейса и поверхностные эффекты, поверхностные состояния.
- Физика полупроводников. Переход Шоттки, гетеропереходы, эффекты локализации в наноструктурах (квантовые точки, тонкие пленки, многослойные структуры).
- Спиновый транспорт и намагниченность в магнитных наноструктурах.

Первые 4 лекции читались разными профессорами: один читал для студентов без предварительных знаний физики твердого тела, второй – для «продвинутых». Последующие

лекции читались «продвинутым» профессором (тем не менее, знание английского языка плохое). Я опоздал на месяц, поэтому первые четыре лекции просто пропустил и никакого выбора делать не пришлось.

Вывод:

Моя оценка – 25/30. Экзамен – тест на 30 минут, состоящий из двух частей. Первая часть – 5 вопросов с тремя вариантами ответа. За неправильный ответ отнимают 1 балл. Вторая часть – открытый вопрос – надо как можно более подробно описать проблему.

Французский язык (2 кредита ECTS)

Вывод:

Самое неприятное – курс читался на итальянском. Т.е. только для итальянских студентов. Но для других студентов было организовано дополнительное время – на самом начальном уровне. Я успел посетить только два таких занятия, в связи с опозданием на месяц. Из предыдущей версии отчета: «Никакого экзамена в конце нет». Как оказалось, экзамен есть, и он был перенесен в конец 1-го семестра, чтобы дать возможность студентам «подучить» язык.

Моя оценка – 18/30. Несмотря на то, что я написал почти все на экзамене (он был достаточно простой), преподаватель сказала, что я посетил слишком мало занятий и курс засчитан не будет. Однако куратор программы все уладил и мне поставили минимальную оценку, чтобы не было проблем с кредитами.

2-я половина 1-го семестра

Лекции: 20 ноября 2006 г. – 20 января 2007 г.

Экзамены: 22 января 2007 г. – 2 февраля 2007 г.

Расписание на вторую половину первого семестра:

Politecnico di Torino - Orari di Lezione di Ateneo
 Torino - III FACOLTA' DI INGEGNERIA - CORSO DI LAUREA SPECIALISTICA IN NANOTECNOLOGIE PER LE ICT
 (TO/Grenoble/Losanna) - TO - P.D. II Periodo - 1 Anno

	8.30-10.30	10.30-12.30	12.30-14.30	14.30-16.30	16.30-18.30	18.30-20.30
Понедельник						
Вторник	03JDHGH - 10 I A-Z PROF. CAPPELLUTI	03JDHGH - 10 I A-Z PROF. CAPPELLUTI			02JPYGH - 2DA-Z PROF. GUERRA	02JPYGH - 2DA-Z PROF. GUERRA
Среда	01KEFGH - 10 I A-Z PROF. GIORGIS	01KEFGH - 10 I A-Z PROF. GIORGIS		03JDHGH - 10DA-Z PROF. CAPPELLUTI		
Четверг	01KEEGH - 10 I A-Z PROF. CIVERA	01KEEGH - 10 I A-Z PROF. CIVERA		01KEFGH - 10 I A-Z PROF. GIORGIS	01KEFGH - 10 I A-Z PROF. GIORGIS	
Пятница	01KEEGH - 2 I A-Z PROF. CIVERA	01KEEGH - 2 I A-Z PROF. CIVERA				
Суббота						

Код курса

01KEEGH
01KEFGH
02JPYGH
3JDHGH

Название

САПР и конструирование микросистем
Характеризация технологических процессов
Предпринимательство
Полупроводниковые устройства

В этой половине семестра было всего 4 предмета. На этот раз, понедельник – свободный день :-)

САПР и конструирование микросистем (5 кредитов ECTS)

Цель:

Начиная с основ микросистем, курс познакомит с некоторыми принципами САПР для моделирования микросистем и смежными инструментами.

Программа курса:

- Эквивалентные электрические схемы.
- Модели *PSPICE*: общее и специализированное моделирование эквивалентных электрических схем.
- Язык моделирования *VHDL* (*Very high speed integrated circuit Hardware Description Language* – язык описания интегральных схем очень высокой степени интеграции) для цифровых систем (только упоминание).
- *L-EDIT* и редакторы топологии, пример создания топологии датчика давления.
- Другие интегрированные САПР для смешанного моделирования.
- Введение в *MATLAB*, примеры и лабораторные работы.
- Введение в *SIMULINK*, пример (кантилевер) и лабораторные работы.
- Описание *FEM* (Finite element modeling – моделирование методом конечных элементов) и введение в *FEMLAB* (сейчас называется *COMSOL Multiphysics*), пример (кантилевер).
- Объединение *FEMLAB* и *SIMULINK* для временного анализа методом конечных элементов.
- Лабораторная работа: моделирование кантилевера в *FEMLAB* и *SIMULINK*.
- Моделирование и взаимодействие между разными физическими доменами.
- Примеры кантилеверов и мембран.
- Электростатическое управление (напряжение и заряд).
- Электростатическое (емкостное), электрическое (резистивное) считывание, мосты и интерфейсные схемы.
- Простые примеры применения МЭМС: ВЧ МЭМС (микрореле, микропереключатели, конденсаторы переменной емкости, катушки и др.), датчики давления, интегрированные оптические микрзеркала (проекторные системы *Texas Instruments*), устройства на основе микрзеркал для считывания штрихкодов.
- Заключение упоминание других областей применения и специализированных технологий.
- Упражнения и лабораторные работы численного анализа.

Особенно интересно сравнить ожидания и предположения по предмету из предыдущей версии отчета с тем, как оказалось на самом деле.

Из предыдущей версии отчета: «*Должен быть очень насыщенный курс. Судя по описанию, это будет немного САУ (читала кафедра ИУ1, системы автоматического управления) с пакетом MATLAB, а также микросистемотехника (ИУ4, пакет PSPICE) + очень много дополнительных программ моделирования*». Курс действительно оказался достаточно насыщенным. Но не из-за того, что в программе много разделов, а из-за выполнения проекта, который в программе не указан.

Цель проекта: моделирование МЭМС с использованием средств и методик, описанных в курсе. Проект выполняется группой из 6 человек (профессор просил, чтобы были студенты из разных стран, а не «кучковались»). Аннотация к проекту: «В настоящее время технология МЭМС (микроэлектромеханических систем) является одной из наиболее перспективных технологий 21-го века и способна произвести революцию, как в промышленном, так и в потребительском секторах, путем объединения кремниевой микроэлектроники и технологии микрообработки. Микрофлюидика (микропневмоника) – это наука и технология изготовления устройств, способных управлять потоками жидкости в нано- и суб-нанолитровом диапазоне, или устройств, основанных на использовании эффектов,

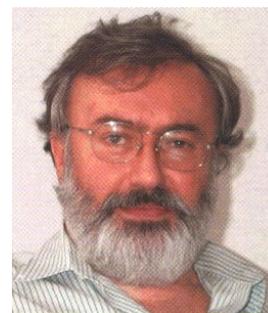
типичных для жидкостей, взаимодействующими с микроструктурами. Микрофлюидика стала одной из наиболее динамично развивающихся областей микротехнологии, благодаря которой стал возможен быстрый рост и коммерциализация таких дисциплин как биологические науки, струйная техника и контроль за окружающей средой. В настоящей работе проведено исследование методов моделирования и средства реализации МЭМС. На примере микрофлюидного переключателя, основанного на эффекте Коанда, было проведено моделирование методом конечных элементов, разработана электрическая модель с сосредоточенными параметрами и проведено моделирование в САПР *SIMULINK* пакета *MATLAB*. С целью проведения анализа осуществимости микрофлюидного переключателя было исследовано несколько технологических подходов».



Профессор
Владимир Викторов

Проект оказался очень интересным. Более того, наша группа консультировалась не только у основного профессора, но также у русского профессора (Владимир Викторов, выпускник МГТУ им. Н.Э. Баумана 1973-го года :-), который работает на кафедре механики *Politecnico di Torino* уже 14 лет. Это было приятной неожиданностью, т.к. в Турине **очень** мало русских.

Что касается самого курса, но лекции были несколько скучные. Профессор (*Pierluigi Civera*) взял книгу профессора Массачусетского технологического института (США) (*Stephen Senturia*, “*Microsystem design*”) и рассматривал некоторые главы из этой книги, объясняя подробности и детали. Рассмотренные методики моделирования, в частности разработка электрических моделей с сосредоточенными параметрами, позволяют представить рассматриваемую электромеханическую систему в виде полностью электрической, без существенных допущений. Очевидно, что процесс решения такой задачи является значительно более простым. В этом заключается важность данного предмета.



Профессор *Pierluigi Civera*

Лабораторная работа была всего одна, но скорей даже не лабораторная работа, а семинар. Темой было изучение пакета *FEMLAB*: другой профессор (тот, что преподавал физику твердого тела для начинающих) рассказал о пакете (в виде презентации *PowerPoint*), а потом все начали выполнять примеры.

Также стоит отметить организованный профессором семинар с участием профессоров Вестфолдского университетского колледжа (*Vestfold University College*) Норвегии, который входит в группу *MultiMEMS MPW (Multi Project Wafer)*, занимающуюся разработкой микросистемной техники на нескольких подложках (сайт <http://www.multimems.com/>). Среди членов группы также: *Infineon Technologies SensoNor*, *microBUILDER* (консорциум из 9 европейских компаний), *STIMESI* (консорциум из 6 европейских компаний и институтов), *SINTEF* (норвежский исследовательский институт), *Tronics Microsystems* (МЭМС компания), *Coventor* (компания, занимающаяся разработкой САПР для МЭМС), *NoE PATENT-DfMM (Network of Design for Micro and Nano Manufacture* – занимается предпроизводственным моделированием, тестированием и исследованием МЭМС). Профессора рассказывали о том, чем занимаются группа, а также представили такие пакеты проектирования МЭМС как *L-EDIT* и *Coventor*.

Вывод:

Очень интересный и крайне необходимый предмет для разработчиков МЭМС.

Моя оценка – 30L/30. В качестве экзамена была защита проекта. Каждый член группы рассказывал про часть, выполненную им. Профессору очень понравилось :-)

Характеризация технологических процессов (4 кредита ECTS)

Цель:

Изучение основ методов характеризации (characterization) для микроэлектронной индустрии и исследований в области микро и нанотехнологиях.

Программа курса:

- Введение в характеризацию материалов (состав, структура и морфология) с помощью фундаментальных взаимодействий (фотоны–вещество, электроны–вещество, ионы/частицы–вещество).
- Оптическая микроскопия (традиционная, конфокальная и ближнепольная (СБОМ)).
- Электронная микроскопия (сканирующая (СЭМ) и просвечивающая (ПЭМ)).
- Ионная микроскопия (сфокусированным ионным пучком).
- Сканирующая зондовая микроскопия (туннельная (СТМ) и атомно-силовая (АСМ)).
- Рассеяние и дифракция рентгеновских лучей, электронная дифракция, нейтронная дифракция, дифракция частиц.
- Оптический анализ *in-situ*, фотoluminesценция, плазменная эмиссионная спектроскопия, комбинационная (Raman) и инфракрасная спектроскопии.
- Анализ состава, электронный зондовый микроанализ, Оже спектроскопия, рентгеновская фотоэлектронная спектроскопия, масс-спектрометрия вторичных ионов (*Secondary Ion Mass Spectrometry*), резерфордовская спектрофотометрия (*Rutherford backscattering spectrophotometry*), анализ электронной отдачи (*Electron Recoil Detection Analysis*).
- Субмикронная литография при помощи СЗМ: СТМ, АСМ, СБОМ.
- Рентгеновская литография.

Курс был разбит на две части: в первой части читали самые основные, наиболее распространенные и известные методы характеризации (оптическая микроскопия, электронная, СЗМ, оптический анализ *in-situ*), вторую часть читал другой преподаватель (который вел экскурсию в лаборатории г. Кивассо) – все остальное из программы, а также не представленные в программе методы создания наноструктур (осаждение из газовой фазы, распыление) и их обработки (было только травление). Последние методы создания и обработки показались явно лишними, т.к. были рассмотрены крайне подробно в курсе «Физика технологических процессов и микросистемы» первой половины семестра.

Вторая часть преподавалась крайне скучно (как и в лаборатории).

Вывод

Предмет очень важный, но преподается неинтересно. Первый преподаватель так говорил по-английски, что хотелось на лекции вообще не ходить, второй – было так скучно, что я и не ходил (т.е. слайдов лекций было достаточно для подготовки к экзамену, что говорит как раз о низком уровне преподавания).

Моя оценка – 29/30. Экзамен был построен почти как у нас: по одному вопросу из каждой части, отвечать немедленно преподавателю, который вел эту часть. Второй преподаватель (старший ассистент) разрешал выбрать вопрос. В итоге я рассказывал про Оже спектроскопию. Из первой части мне попала СЗМ :-)

Предпринимательство (3 кредита ECTS)

Цель:

Предпринимательство – для тех людей, которые намереваются начать свое собственное дело. Предпринимательство изучает методы использования предпринимательских способностей в бизнесе. Эти способности являются наиболее востребованными в высокотехнологичном бизнесе в связи с конкурентной борьбой и, следовательно, в модели динамического управления. Обычно, они проявляются в способности объединить превосходные технические знания с предпринимательскими и управленческими навыками. Данный курс нацелен на изучение основ и получение опыта в данной области. В основе курса – «сильный» интерактивный учебный подход в тесной связи с инкубаторов инновационных компаний Турина *IZP* и группой молодых предпринимателей промышленной ассоциации Турина.

Несмотря на то, что данный курс не требует обязательного знания начальных курсов, будет полезным знания в области экономики и организации предприятия. В случае необходимости дополнительные материалы будут предоставлены.

Программа курса:

- Введение
 - Бизнес и компании: роль предпринимателя.
 - Предпринимательские концепции: начало и продвижение собственного бизнеса, поведение и взаимодействие с внешними компаниями.
- Модуль I: бизнес идея и планирование
 - Основы бизнес планирования.
 - Продукция/услуги: как определить их в качестве предложения ценности (*Value proposition*).
 - Потребители, проблемы, выгода, особенности, технологии.
 - Анализ рынка и стратегия.
 - Оперативное и организационное планирование.
 - Экономическое и финансовое планирование.
- Модуль II: предпринимательские способности
 - Модель *B-LABS*.
 - Бизнес компетенция.
 - Предпринимательская интуиция/поведение: поиск/оценка возможностей, умение работать в условиях неопределенности.
 - Возможности (знание/опыт): бизнес процессы, переговоры, принятие решения, планирование.
 - Персональные качества: независимость, решительность, самоуверенность, креативность.
 - Предпринимательская жизнь/среда: обязательства на работе, семья и светская жизнь, личные ценности.
- Лабораторные работы и упражнения (индивидуальные и групповые)

««сильный» интерактивный учебный подход в тесной связи с инкубаторов инновационных компаний Турина *IZP* и группой молодых предпринимателей промышленной ассоциации Турина» – очень сильно преувеличено. Связь с инкубатором заключалась только в том, что оба преподавателя там работают. Про группу молодых предпринимателей нам вообще не говорили.

Один из преподавателей, видимо, писал описание курса для сайта. Переводить было крайне тяжело, т.к. знания английского языка у него практически отсутствуют. Слушать такие лекции просто нет никакого желания. Непонятно, про какой «сильный» интерактивный подход шла речь. Некоторые слайды этого преподавателя были на итальянском.

Помимо основ, он рассказывал некоторые разделы, которые были в книге по предпринимательству одного американского автора (*John W. Mullins, "The New Business Road Test"*).

Второй преподаватель провел всего 2 лекции, рассказывая о том, как проводить патентный поиск, искать нужную информацию и т.п.

Никаких лабораторных работ не было. Был проект, в котором надо было подготовить упрощенный бизнес план (без многих разделов) по определенной научной идее (можно было выбрать из предложенного списка или взять свою тему). Состав моей группы и тема проекта были такие же, как для курса «САПР и конструирование микросистем». В конце семестра – защита проекта, результаты которой влияют на окончательную оценку.

С точки зрения учебного материала, единственной полезной информацией стала упомянутая книга по предпринимательству, а также ряд примеров бизнес планов и принципам их составления – т.е., по сути, информация, которую можно самостоятельно найти в интернете.

Тем не менее, в результате знакомства с двумя преподавателями данного курса, я приобрел контакты с инкубатором инновационных компаний Турина *I3P* (<http://www.i3p.it/>), провел переговоры с тремя компаниями, занимающимися информационными технологиями, в том числе для администрации, а также принял участие в конкурсе бизнес планов (результаты ожидаются в сентябре 2007 г.).



Логотип инкубатора *I3P*

Вывод:

Предмет – очень нужный :-), но преподавание не выдерживает никакой критики. Понятно, что преподаватели имеют опыт в данной области, но подучить английский язык и сделать качественные слайды можно было.

Моя оценка – 29/30. На экзамене надо было письменно ответить на ряд вопросов. Ничем пользоваться нельзя. На окончательную оценку также влияет защита проекта и участие в семинарах (которых не было :-)).

Полупроводниковые устройства (4 кредита ECTS)

Цель:

Начиная с физики полупроводников, в рамках курса будут изучены основные принципы работы *p-n* перехода, перехода Шоттки и МОП (метал-окисел-полупроводник) устройств.

Программа курса:

- Основы *p-n* перехода: диаграмма энергетических зон при равновесии, работа при прямом и обратном смещении, электростатика, пробой.
- Основные особенности динамического поведения переходов металл-полупроводник: барьер Шоттки, омическое поведение.
- Биполярные транзисторы: транзисторный эффект, параметры транзисторов, вольтамперные характеристики, модель Эберса-Мола и эквивалентная схема малых сигналов.
- Полевые транзисторы: полевой транзистор с *p-n* переходом (*JFET*), последовательная аппроксимация канала, режим насыщения скорости.
- МОП переходы: диаграмма энергетических зон, условия инверсии, порог.
- МОП транзистор: характеристики, *n*- и *p*-канальные устройства; силовые МОП устройства.

Нечто подобное нам читали в курсе «Физические основы микроэлектроники» (ФОМ, кафедра РЛ, номер не помню).

В течение всего курса надо было выполнить 6 домашних заданий. С самого начала из-за какой-то ошибки у меня не было доступа к материалам данного курса (см. ниже про учебный портал) и я не смог скачать задания. Я попросил французов переслать мне задания и материалы, после чего начал решать задачи. За первые две домашние работы я получил не самые лучшие оценки (4 по нашей системе), после чего узнал, что с самого начала среди материалов курса был список формул, который мне французы не прислали. Не знаю, почему они этого не сделали, но это их очень хорошо характеризует, как национальность. Наверное, поэтому первоначальное отношение к данному предмету было негативным.

После этого я обратился к преподавателю и она мне сделала доступ ко всем материалам. Начиная с третьего домашнего задания, я изменил подход :-), осознав важность данного предмета, что привело к максимальным оценкам за все последующие задания.

Также в рамках курса было 2 лабораторные работы – изучали свойства и поведение полупроводниковых переходов с помощью математического пакета *MATLAB*.

Отдельно хотелось бы отметить преподавателя. Это – девушка лет 27 :-) (*Federica Cappelluti*). Исходя из опыта в МГТУ, казалось, что она нас мало чему сможет научить, однако это оказалось не так. Она прекрасно разбирается в своем предмете, ориентируется в *MATLAB* как в обычном калькуляторе, ведет активную научную деятельность. К сожалению, найти её фотографию в Интернете не удалось. С ультрапортативным ноутбуком *ASUS* белого цвета она смотрелась очень эффектно :-)

Вывод:

Моя оценка – 28/30. Только благодаря своевременному осознанию того, насколько важным является данный курс, что он просто не может быть неинтересным, несмотря на французов, удалось получить такую высокую оценку. На экзамене надо было решить 2 очень объемные задачи за два часа. Пользоваться можно было только тем самым списком формул. На окончательную оценку повлияли оценки за домашние задания.

Таким образом, если в рамках курса выполнялись проекты, лабораторные работы, домашние задания и пр., то они учитывались и влияли на окончательную оценку (в отличие от нашей системы, где влияет только экзамен, а все ДЗ и лабораторные работы служат только допуском к нему).

18-го ноября была церемония вручения дипломов студентам первой группы данной магистерской программы (программа открылась в 2004 г.). Приезжали кураторы и деканы из Франции и Швейцарии. В конце вручения был банкет :-)

Общее описание учебного процесса

В конце каждого курса студентам выдается анкета с вопросами (около 10 вопросов), где необходимо оценить профессора по пятибалльной шкале. Примерные вопросы: «Насколько доступно и понятно преподаватель излагал курс», «Мотивировал ли преподаватель студентов», «Достаточно ли материалов (слайдов) для освоения курса», «Правильное ли число кредитов установлено за данный курс» и др. Также выдается лист, на котором можно указать замечания и предложения по курсу.

Ничего особенного в процессе проведения лекций нет. Приходит преподаватель, достает свой ноутбук, подключается к проектору и рассказывает материал по слайдам. Аудитории оборудованы очень хорошо. Специальный стол, в котором есть все, что нужно профессору – компьютер, разъемы, розетки, можно переключиться с проектора, на диаскопический проектор (если, например, необходимо нарисовать что-то самому). При этом есть обычная доска и мел. Проекторы в каждой аудитории.

Компьютерная лаборатория – это большой зал, неяркое освещение (что значительно приятней нашего аквариума), около 70 компьютеров с ЖКД, мягкие стулья (причем не самые простые, а с подлокотниками – эргономичные :-)).

Отдельно хочется остановиться на системе регистрации студентов. Это единая БД, которая построена на платформе с использованием решений *Oracle* (не спрашивайте, как я это узнал :-)). Начинается все с генерального секретариата. Надо прийти туда, там сделают фотографию (с помощью веб камеры) и тут же изготовят пластиковую магнитную карточку студента, выдадут *Libretto* – что-то типа нашего студенческого билета, в котором есть вкладыш для оценок (т.е. ещё и как зачетка). У каждого свой номер (*matricola*).



POLITECNICO DI TORINO

Matr. 137808

Il Sig. DENISOV ALEXEY
nato a ODESSA (UCRAINA) il 04/07/1984
è stato immatricolato nell'anno accademico 2006/07
presso POLITECNICO DI TORINO
alla Facoltà di INGEGNERIA DELL'INFORMAZIONE

firma dello studente
Alexey Denisov

Torino, il 12/10/2006

IL DIRETTORE AMMINISTRATIVO
Alexey Denisov

ESAMI SOSTENUTI	VOTO	DATA	FIRMA
SOLID STATE PHYSICS	25	07/11/06	<i>Denisov</i>
Computer Science	30	14/11/06	<i>Denisov</i>
PHYSICS OF TECH PROCESSES	30	14/11/06	<i>Denisov</i>
TELECOMMUNICATIONS INTRODUCTION	24	21/11/06	<i>Denisov</i>
Charact. Tech. Processes	23	23/11/07	<i>Denisov</i>
SEMICONDUCTOR DEVICES	28	30/11/07	<i>Denisov</i>
CAD & DESIGN OF MICROSYSTEMS	30	1/12/07	<i>Denisov</i>
Entrepreneurship	29	25.1.07	<i>Denisov</i>

Libretto (студенческий билет) и карта студента

С помощью карты студента можно получить доступ к компьютерным лабораториям (посидеть в Интернете и т.д. Я этим не пользовался, т.к. у меня Интернет был в общежитии + на территории ВУЗа есть беспроводное покрытие *Wi-Fi*, доступ к которому – также по *ID* студента), на этой карте хранится информация о тарифе в столовой :-)) (у нормальных студентов – это 2,5 евро за обед, у российского студента – это 6,5 евро, т.к. Россию они страной, наверное, не считают). В компьютерных лабораториях первым делом надо авторизоваться под своим *ID*.



Доступ к e-mail

Main
Materiale
Curriculum
Stage
Job
Progetto Esami
Forum
Posta



ID → 137808
Alexey Denisov

Residenza
RUSSIA

Recapito
Via San Secondo 70 (C/O Foyer Ucdg) - 10128 Torino (TO)

Facoltà
ING. DELL'INFORMAZIONE

Corso
NANOTECNOLOGIE PER LE ICT

Ultima iscrizione
2006/2007

Alias ?

Alias attivato:
alexey.denisov@studenti.polito.it

Disco Virtuale ?

[CONDIZIONI D'USO](#)

E-mail →

Carico Didattico A.A. 2006/2007 ← **Материалы к курсам**

01JCJGH	Computer sciences	2
01JDJGH	Telecommunications: introduction	(2)
01JPYGH	Entrepreneurship	(3)
01KEDGH	Physics of technological processes and microsystems	(5)
01KEEGH	Cad and design of microsystems	(5)
01KEFGH	Characterizations of technological processes	(4)
02JDJGH	Solid state Physics	(3)
07BMKGH	Lingua francese	(2)

Расписание экзаменов

Altri corsi ?

03JDHGH Semiconductor devices 2006/07 (4)

Appelli prenotati ?

Nessun appello prenotato.

[Visualizza elenco appelli disponibili](#) [Guida all'uso](#) [93 Kb]

Avvisi recenti ← **Новости** ?

In bacheca non sono presenti nuovi avvisi pubblicati in data successiva al 29/07/2007. Per l'elenco completo consultare le pagine dei corsi.

Libretto Elettronico ← **Libretto (оценки)** ?

Cad and design of microsystems	30 lode	01/02/2007
Characterizations of technological processes	29	23/01/2007
Computer sciences	30 lode	10/11/2006
Entrepreneurship	29	25/01/2007
Physics of technological processes and microsystems	30	17/11/2006
Solid state Physics	25	07/11/2006
Telecommunications: introduction	24	16/11/2006
Totale crediti:	24	

Bookmarks ?

Biblioteca

Date Esami

Mapa Del Politecnico

Orari Lezioni Politecnico Di Torino

Segreteria → **Расписание**

[Aqqiungi](#)

sid@home ?

LO SPORTELLO DI SEGRETERIA DIRETTAMENTE A CASA TUA!

Questo servizio ti offre parte delle funzionalità già disponibili presso i Box Self service: **Pagamento Tasse con Carta di Credito NEW!**, Carico Didattico, visualizzazione e modifica dati personali, presentazione domande, ecc...

ENTRA

Per accedere ai servizi è necessario installare il plug-in JRE <http://didattica.polito.it/java>

Il caricamento del programma può risultare lungo. Leggere l'help per i requisiti software.

Servizio SMS ?

SMS

Iscrizione non attiva

[Modifica iscrizione](#)

Forward ?

Indirizzo mail forward:

Учебный портал (Didactic portal)

Печать документов и материалов – это отдельная тема. Есть специальный офис печати. Там надо покупать карточки (200 страниц – 5 евро), а потом можно печатать или снимать ксерокопии. Для того, чтобы напечатать что-то необходимо отправить документ на печать, затем подойти к специальному терминалу, вставить карточку, выбрать принтер. После этого с карточки будет списано определенное число кредитов и документ будет распечатан.

Там же можно воспользоваться цветным копиром, принтерами, плоттерами, сделать обложку – в общем, есть все, что нужно. Есть также специальные компьютеры, на которых можно получить доступ к БД всех предметов и лекций к ним, а потом тебе по номеру выдадут уже готовый комплект лекций.

Большинство студентов в нашей группе печатали себе лекции, я не печатал – учил с ноутбука. Как оказалось, французы печатали все «на халяву» – заходили в лаборатории и там использовали бесплатный принтер. Подсказать, конечно, о такой возможности они не могли.

Италия – продвинутая страна в плане защиты авторских прав. Запрещается копирование более 15% от объема книги. За каждую дополнительную страницу надо платить 7 центов. Тем не менее, когда мы покупали книги по предпринимательству, итальянец нашел лавку, в которой нам её просто распечатали и переплели всего за 10 евро :-)

Описание общежития

Мое общежитие (всего у института их не менее трех) располагалось в 10 минутах ходьбы от нашего учебного корпуса. Каких-то особенностей заметить в нем не удалось: старый дом (общежитие занимает один подъезд в доме, остальные – магазины и т.п.), внутри все достаточно обшарпанное, однако раз в неделю проводилась уборка, менялось постельное белье и полотенца (4 полотенца!). На каждом этаже располагается несколько туалетов, 3 душевых кабинки, а также на этажах с кухнями (2 кухни) было расставлено несколько холодильников. Также следует отметить наличие подушек и одеял на кроватях и всех необходимых кухонных принадлежностей. На двух лестничных пролетах установлены городские телефонные будки, что очень удобно. На втором этаже рядом с кухней стояла стиральная машина (около 1,8 евро за одну стирку). Машины для сушки не было, вместо нее – 2 раскладывающиеся сушилки. Каких-либо неудобств со стиркой и сушкой, несмотря на то, что в доме жило достаточно много человек, у меня не возникло. Стирал и сушил когда мне было нужно.

Комнаты рассчитаны на 1-2 человека (я жил с французом). Среди мебели: письменные столы, полки, большой шкаф, а также умывальник.

Так получилось, что среди студентов нашей группы в данное общежитие попали одни французы. Даже мое место было изначально предназначено для француза, но он попросил с ним поменяться. Причина такого распределения мне неизвестна.

Путешествия по Италии

За 4 месяца, проведенных в Италии (октябрь 2006 – январь 2007), удалось побывать в Риме, Венеции, несколько раз в Милане, а также сходить в поход в Альпы (под Турином).

Из городов больше всего понравились Рим и Венеция.

Что касается Турина, то это достаточно спокойный город, оставляющий приятное впечатление. Как выяснилось, Турин – столица Италии по шоколаду и мороженому, в чем я убедился на собственном опыте :-)

Все фотографии, связанные с учебой, путешествиями и пр., а также комментарии к ним, будут размещаться на сайте СТРИМ.Фото: <http://www.streamphoto.ru/users/AlexiyII/>. Планируется, что в данном альбоме будут размещены фотографии, сделанные за весь период заграничного обучения.

2-Й СЕМЕСТР – *INSTITUT NATIONAL POLYTECHNIQUE DE GRENOBLE* (*INPG*), ФРАНЦИЯ

Адрес Интернет-сайта *INPG*: <http://www.inpg.fr>
Вкратце об *INPG*: http://best.etu.inpg.fr/?page_id=20

INPG – Национальный политехнический институт Гренобля (если переводить с французского), однако на англоязычной версии сайта написано «Grenoble Institute of Technology» – технологический институт Гренобля.



Немного истории (http://www.inpg.fr/1121074244916/1/fiche_article/): *INPG* ведет историю своего существования с 1892 г., когда молодой лектор Пауль Жанет (*Paul JANET*) прочитал первую открытую лекцию по промышленной электротехнике в Гренобле. Несколько месяцев спустя несколько влиятельных промышленников и аристократов настояли на открытии *IEG* (*Grenoble Institute of Electrical Engineering*) – института электротехники в Гренобле.

Приставка «политехнический» появилась в 1907 г., когда французское общество производителей бумаги открыло там школу бумажного производства.

К 1920 г. в институте преподавались курсы по электротехнике, электрохимии и электрометаллургии, гидравлике, промышленной физике, прикладной механике и сопротивлению материалов. Именно в этом году началось развитие института и именно в этом году он получил название “*Institut Polytechnique de Grenoble*”, объединяющее в себе всю школу целиком, предлагающую многочисленные инженерные курсы, практические лабораторные занятия и ведущую преподавание в различных прикладных областях науки.

В 30-х годах были открыты подразделения в области радиотехники, ядерной техники, информационных технологий и прикладной математики.

В 1947 г. французское правительство присвоило институту статус «*Ecole supérieure d'ingénieur*» (высшая инженерная школа).

Возглавляемый Льюисом Нилем (*Louis NÉEL*) институт в декабре 1970 г. был аккредитован в качестве университета и получил название *INPG*. На тот момент в институте было 6 школ: *EFPG*, *ENSEEG*, *ENSERG*, *ENSHMG*, *ENSIEG* и *ENSIMAG* (см. таблицу ниже). Высшая школа физики *ENSPG* была основана в 1985 г., а высшая школа инженерного дела – в 1990 г.

В настоящий момент *INPG* состоит из 9 основных школ:

<i>EFPG</i> (<i>Ecole Française de Papeterie et des industries Graphiques</i>)	Французская школа бумажного производства и графической индустрии
<i>ENSEEG</i> (<i>Ecole Nationale Supérieure d'Electrochimie et d'Electrometallurgie de Grenoble</i>)	Высшая школа электрохимии и электрометаллургии
<i>ENSERG</i> (<i>Ecole Nationale Supérieure d'Electronique et de Radioélectricité de Grenoble</i>)	Высшая школа электроники и радиотехники
<i>ENSGI</i> (<i>Ecole Nationale Supérieure de Génie Industriel</i>)	Высшая школа инженерного дела
<i>ENSHMG</i> (<i>Ecole Nationale Supérieure d'Hydraulique et de Mécanique de Grenoble</i>)	Высшая школа гидравлики и механики
<i>ENSIEG</i> (<i>Ecole Nationale Supérieure d'Ingénieurs Electriciens de Grenoble</i>)	Высшая школа инженеров-электриков

<i>ENSIMAG</i> (<i>Ecole Nationale Supérieure d'Informatique et de Mathématiques Appliquées de Grenoble</i>)	Высшая школа информатики и прикладной математики
<i>ENSPG</i> (<i>Ecole Nationale Supérieure de Physique de Grenoble</i>)	Высшая школа физики
<i>ESISAR</i> (<i>Ecole Supérieure d'Ingénieurs en Systèmes Industriels Avancés Rhône-Alpes</i>)	Высшая инженерная школа передовых промышленных систем (район <i>Rhône-Alpes</i> *)

* Район *Rhône-Alpes* – один из 26 регионов Франции, расположенный на восточной границе страны. В свою очередь данный регион состоит из 8 департаментов. Среди них *Isère*, столицей которого является Гренобль.



Регион *Rhône-Alpes* во Франции

Также в *INPG* ведется обучение по магистерским программам в различных областях науки и техники. *INPG* является первой (по рейтингу) во Франции группой инженерных школ, ведущей подготовку специалистов по 11 направлениям: 9-ти, указанным в таблице, а также телекоммуникациям и нанотехнологиям.

Настоящая магистерская программа по микро и нанотехнологиям проводится школой *ENSERG* (высшей школой электроники и радиотехники). Очевидно, что в *INPG* также используется система кредитов *ETCS*.

Адрес Интернет-сайта школы *ENSERG*: http://www.inpg.fr/ER/1/fiche__defaultstructureksup/

Уровень преподавания в Гренобле оказался несколько более высоким, чем в Турине. Французские преподаватели (из тех, что вели у нас) знают английский язык лучше итальянских, хотя в Италии студенты-французы говорили, что в этом плане будет ещё хуже. Также следует отметить, что преподаватели в Гренобле – не все французы (в Италии были все итальянцы). Как уже было указано выше, по оснащению лабораторий и их количеству Франция опережает Италию, т.е. во Франции больше возможностей для трудоустройства, ведения научной деятельности и пр., что приводит к дополнительному потоку кадров из других стран.

Само здание института очень понравилось – новое, чистое и аккуратное, высокотехнологичное :-)



Здание учебного корпуса *INPG*

Также как и в Италии, семестр делится на две части. В конце каждой – экзамены.

Первая половина семестра:

Лекции: 12 февраля 2007 г. – 6 апреля 2007 г.

Экзамены: 16 апреля 2007 г. – 20 апреля 2007 г.

Вторая половина семестра:

Лекции: 23 апреля 2007 г. – 20 июня 2007 г.

Экзамены: 21 июня 2007 г. – 29 июня 2007 г.

Сделать такое же разделение предметов по полу-семестрам, как для Италии, достаточно проблематично. Во Франции все предметы были объединены в блоки и разные предметы из одного блока были в разных частях семестра. Поэтому ниже приводится описание предметов, сгруппированных в блоки, без привязки к полу-семестрам.

Основное отличие в расписании (от того, чтобы было в Италии) в том, что на каждую неделю оно было новым. В Италии было по 4-5 предметов в полу-семестре («весомых» с точки зрения кредитов *ECTS*, т.е. достаточно продолжительных), которые были распределены по всей его протяженности. Однако во Франции предметов было значительно больше, по 1-2 кредита каждый, к тому же появились практические занятия в виде лабораторных работ, которые проводились в группах по 4 человека. Т.е. расписание у каждой группы было свое.

Таким образом, свободного времени (не говоря уже о целом свободном дне, как это было в Италии) практически не было.

Пара лекций во Франции длится 4 астрономических часа (не считая 15-ти минутного перерыва между лекциями). Утренняя пара лекций – с 8:00 до 12:15, после обеда – с 13:30 до 17:45. Т.к. многие предметы были всего по 1-2 кредита, то лекции длились по 2 часа (половина пары). После 15-ти минутного перерыва шел другой предмет. По сравнению с 4-х часовыми лекциями в Италии 2-х часовые лекции воспринимались значительно лучше и не утомляли.

Как уже было указано, во Франции появились лабораторные работы. Т.е. это были действительно лабораторные работы, где можно (и нужно) было работать с оборудованием (в Италии были небольшие лаб. работы на компьютерах, а также экскурсия в нанотехнологическую лабораторию), выполнять измерения, сдавать отчеты. Тематика лабораторных работ была очень разнообразна (см. «Лабораторные работы по микро и наносистемам»). На все работы было выделено 96 часов.

В дополнение к лабораторным работам необходимо было выполнить и защитить проект (как было в Италии, только значительно более объемный). За проект, также как и отчеты по лабораторным работам, выставлялась оценка (т.е. проект и лаб. работы входили в общую нагрузку).

Большинство экзаменов – решение задач, что, естественно, значительно сложнее, чем тесты. Французская система образования подразумевает 20 бальную шкалу (далее X/20 будет означать оценку X из 20 максимально возможных). Однако преподаватели редко ставят оценку выше 17/20 (совершенно непонятно почему). Теоретически, для того, чтобы экзамен был засчитан необходимо набрать хотя бы 12 (в случае провала – пересдача в конце всего семестра, т.е. в июле). Однако на практике было иначе: все предметы были сгруппированы в блоки (электроника, нанотехнологии, предметы по выбору). Для успешной сдачи семестра необходимо было выполнение трех условий: нет предметов с оценкой 0/20, средняя оценка за каждый модуль не ниже 8/20, общая средняя оценка (по **всем** предметам) не ниже 12/20. На мой взгляд, данная система является значительно более удобной, позволяющей «вытянуть» низкую оценку за один предмет другой высокой оценкой, не пересдавая экзамен. Однако, тем не менее, назвать её более простой нельзя, т.к. учитываются все предметы и для

высокой средней оценки необходимо получить высокие оценки по каждому предмету. Другими словами, работать надо везде :-)

Для каждого предмета назначалась только одна дата экзамена. Перед каждым экзаменом на столах раскладывались номера, и каждый студент садился за стол со своим номером. Экзамены проходили в течение одной недели (во второй половине семестра – 1,5), перед которой была неделя, которую они в расписании почему-то назвали «*Vacances*» – каникулы, хотя именно в течение этой недели все готовились к экзаменам. Сразу же после экзаменов (со следующей недели) начинались занятия, т.е. отдыха ни до, ни после экзаменов не было. Хорошо, что хоть иногда в течение рабочей недели было 1-2 дня выходных (из-за праздников).

Все предметы во втором семестре были разделены на основные (обязательные) и предметы по выбору. Каждый предмет имел свое число кредитов *ECTS*. Среди предметов по выбору необходимо было выбрать 4-5 предметов таким образом, чтобы в сумме получилось 6 кредитов. После чего их посещение становилось обязательным (чтобы набрать 30 кредитов за семестр). Ниже приведен список данных предметов:

Название	Число кредитов <i>ECTS</i>
Лабораторные работы по биочипам	2
Биоэлектроника: биосенсоры и биочипы	2
Магнитные микросистемы	1
Физика микрофлюидных систем	1
Молекулярная биология	2

Среди данных предметов я выбрал все, кроме «Молекулярной биологии». Но т.к. данный предмет настоятельно рекомендовали посещать, чтобы успешно пройти «Лабораторные работы по биочипам», я его также не пропускал (недели 3-4 всего :-)) и взял все материалы. На практике оказалось, что данный предмет можно было вообще не посещать, т.к. у лаб. работ были хорошие методички :-)

Таким образом, я выбрал 4 дополнительных предмета и должен был сдать 4 экзамена.

В первой половине семестра было 5 основных предметов и 1 по выбору («Молекулярная биология»). Т.е. в конце первого полу-семестра у меня было 5 экзаменов, т.к. «Молекулярную биологию» я не выбирал. «Лаб. работы по биочипам» входили в общий список лабораторных работ, однако время их проведения у каждой группы было свое. У моей группы данные работы начались только со второго полу-семестра.

Семестр во Франции начался со вступительной лекции. В течение двух часов куратор программы от *INPG*, а также ответственный за лабораторные работы профессор рассказывали об учебном процессе, предметах, лабораторных работах, проекте, экзаменах и отвечали на все вопросы. После обеда начались обычные лекции (это была молекулярная биология).

Предметы по выбору

Лабораторные работы по биочипам (2 кредита ECTS)

Цель:

Изготовление и исследование ДНК микромассивов (микрочипов) на кремниевых подложках

Программа лабораторных работ:

- Нанесение ДНК зондов на силанизированную* микроструктурированную кремниевую подложку.
- Проведение гибридизации (скрещивания, соединения) с ДНК, помеченными флуоресцентными метками.
- Проведение функциональной характеристики средствами флуоресцентной микроскопии и количественного анализа изображения.

* Силанизация – это обработка поверхности подложки (из стекла или кварца) специальными составами, образующими на его поверхности пленку, препятствующую соприкосновению биологически активных растворов с поверхностью подложки.

Всего было 2 лабораторные работы по 4 часа.

В течение первой мы готовили подложки (часть кремниевых, часть стеклянных) – необходимо было поместить их на 1,5 часа в специальный раствор и затем просушить. На этом первая лабораторная работа закончилась. Лаборанты в течение нескольких последующих дней выполнили ещё ряд подготовительных операций, чтобы ко второй нашей работе подложки были готовы.

В течение второй работы мы использовали специальный станок для нанесения ДНК зондов на подложки. Данный станок работает по тому же принципу, что и станки установки КМП элементов на печатные платы. Только вместо присоски для элементов на данном станке установлена микропипетка для раствора с ДНК. В начале каждого цикла станок опускает пипетку в раствор с ДНК и затем наносит каплю данного раствора на подложку. Станок очень гибкий и его можно программировать: в нашем случае мы наносили 4 различных вида ДНК на несколько подложек. Таким образом, мы получили 4 различных ДНК зонда.



Установка для нанесения ДНК зондов

Следующим этапом было проведение процесса гибридизации ДНК зондов с тестовой неизвестной ДНК (структуру которой необходимо было выяснить с помощью этих зондов). Для этого все подложки помещались в специальный раствор с тестовой ДНК на 45 минут и затем тщательно промывались и просушивались. В результате выполненной операции к каждому ДНК зонду (молекуле) присоединилась молекула тестовой ДНК. Процесс гибридизации зависит от структуры молекулы ДНК, а именно от ее нуклеотидов (аденин, гуанин, цитозин, тимин). Только определенные пары нуклеотидов могут соединиться в процессе гибридизации. Каждая ДНК молекула (ДНК зонд) помечена специальной флуоресцентной меткой, испускающей излучение, интенсивность которого пропорциональна числу соединившихся пар нуклеотидов. Исследуя затем данные молекулы с помощью микроскопа, и анализируя интенсивность излучения, можно сделать вывод о составе тестовой ДНК.

На самом деле состав тестовой ДНК был заранее известен, а ДНК зонды были подобраны таким образом, чтобы иметь 0, 1 и 2 несоответствия с тестовой ДНК (по нуклеотидам). 4-й зонд полностью не соответствовал тестовой ДНК. В результате проведенных лабораторных работ было выявлено, что наибольшей интенсивностью излучения обладали зонды, полностью соответствующие тестовой ДНК, в то время как полностью несоответствующие зонды излучения вообще не испускали.

Вывод:

Моя оценка: 18/20. Необходимо было написать один отчет на группу из четырех человек (более подробно про состав группы см. «Лабораторные работы по микро и наносистемам»).

Как уже упоминалось выше, для успешного выполнения данных лабораторных работ курс «Молекулярная биология» можно было вообще не посещать, т.к. нам выдали очень хорошие методички, а также преподаватель объяснял всё очень подробно.

Несмотря на то, что курс «Молекулярная биология» я не выбирал (биология мне менее интересна, чем другие предметы), данные лабораторные работы мне очень понравились. Судя по оснащению лабораторий, числу исследователей и публикаций, участию в международных конференциях, *INPG* ведет очень активную деятельность в этой области.

Биоэлектроника: биосенсоры и биочипы (2 кредита ECTS)

Цель:

Изучение основ биоэлектронных наук и технологий. Биоэлектроника – новая область науки, которая занимается изучением биоэлектрических интерфейсов с целью:

1. мониторинг феноменов или биологических видов;
2. взаимодействия с биологическими функциями.

Биоэлектроника может быть разделена на 3 основные раздела:

1. молекулярная биоэлектроника, например, биосенсоры и биочипы (которые включают в себя интеграцию биологической функции с электрическим устройством);
2. клеточная биоэлектроника, например массивы микроэлектродов (предназначенные для наблюдения и/или моделирования клеточных сетей с целью исследования их коллективной функции, а также тракта переноса информации);
3. медицинская биоэлектроника, например электроды ЭКГ (электрокардиограмма) и ЭЭГ (электроэнцефалограмма), *TENS (Transcutaneous Electrical Nerve Stimulation* – чрескожная электрическая нервная стимуляция), нейростимуляция, имплантанты в сетчатку глаза (всё то, что касается разработки электронных интерфейсов, предназначенных для мониторинга и стимуляции человеческих функций).

Программа курса:

- Биоэлектроника
 - Определение и принципиальные подходы.
 - Рынок.
 - Глобальная «среда» исследований и разработок в области биоэлектроники.
- Биосенсоры
 - Принципы работы и функции.
 - Биологические зонды.
 - Методы преобразования в биосенсорах.

- Технологии биосенсоров и принципы работы.
- Коммерческие решения.
- Биочипы
 - Биочипы по сравнению с биосенсорами: определение и функции.
 - Технологические подходы в производстве биочипов.
 - Биочипы: современные методы обнаружения и преобразования.
 - Коммерческие решения.
- Микроэлектродные массивы и биомедицинские электроды
 - От клеточных коллективных сетей до живых организмов: применение микроэлектродных массивов для мониторинга и стимулирования живых тканей.
 - Электрохимический подход к методу инъекции и мониторинга заряда.
 - Микроэлектродные массивы для нейро- и других сетей.
 - Имплантируемые биомедицинские электроды.

Ещё один предмет, связанный с биологией, поэтому воспринимать его было достаточно тяжело (лично мне). Как было видно, преподаватель обладает большим опытом работы в данной области. Как он нам рассказывал, когда-то он работал в компании *Guinness* (наверное, проводил исследования пива :-). Сейчас он работает в одной из био-лабораторий *INPG*.

Вывод:

Моя оценка: 16/20. В качестве экзамена необходимо было провести анализ научной статьи по тематике курса. Моя группа (три человека, состав группы отличается от состава группы для лабораторных работ) выбрала тему «Полимерные микрофлюидные системы для анализа ДНК». Я взял раздел, посвященный технологиям изготовления данных систем, т.к. мне это значительно более интересно, а также, в отличие от биологии, понятно. Два других студента проанализировали части статьи, посвященные ДНК и пр. (для них это не составило никакого труда, т.к. у них был проект, связанный с молекулярной биологией).

Таким образом, грубо говоря, на лекции можно было вообще не ходить, а только взять за несколько недель до конца курса статьи и провести ее анализ. Тем студентам, которые делали проекты, не связанные с биологией, данные знания не пригодились (пока). Поэтому, я считаю, что 2 кредита *ECTS*, отведенные на данный предмет, – слишком много, и одного было бы достаточно.

Магнитные микросистемы (1 кредит ECTS)

Цель:

- Изучение магнитных взаимодействий в МЭМС: высокая плотность энергии и плотность силы, левитация.
- Исследование основных компонентов магнитных МЭМС: микромагниты, микрокатушки, активные материалы.
- Многочисленные примеры и прототипы: микропереключатели, микромоторы, микрогенераторы, микросканеры, микросенсоры.

Программа курса:

- Введение в магнитные взаимодействия
- Законы уменьшения масштаба
- Микромагниты: материалы, технологии
- Микрокатушки: геометрические параметры, интеграция

- Активные материалы: магнитоstriction, магнитные материалы с запоминанием формы, гибриды
- Сверхвысокие плотности токов
- Примеры применения

Данный предмет вел не профессор *INPG*, а исследователь одной из лабораторий Гренобля (возможно, не только данный предмет, но здесь нам об этом сказал сам преподаватель). По уровню владения английским языком данный преподаватель – самый лучший из всех за весь период обучения (кроме преподавателя английского языка :-), см. «Английский язык»). В результате слушать лекции было очень интересно: все доступно и понятно.



Преподаватель
Orphée Cugat

На лекциях действительно было очень много примеров: после описания принципа действия какого-либо устройства или технологии его изготовления приводилось, как правило, 3-4 примера. В качестве примеров были также видеоролики, как скачанные из Интернета, так и сделанные аспирантами, работающими по руководством нашего преподавателя.

Также в слайдах встречались основные законы электромагнетизма и формулы, но они были приведены только для ознакомления и на экзамене не спрашивались.

Вывод:

Моя оценка: 13/20. На экзамене в течение часа необходимо было ответить на 3 теоретических вопроса, а также предложить идею использования магнитной МЭМС, которая не встречалась в курсе :-). Можно было пользоваться материалами курса, т.е. экзамен был направлен на проверку понимания предмета. Видимо, моя идея интерференционного микрофильтра Фабри-Перо с магнитной перестройкой преподавателю или не понравилась, или он ее не понял (что оказывает одинаковый результат на оценку, к сожалению). Проверить, что именно было неправильным в моем ответе (это касается всех предметов второй половины семестра) я не смог, т.к. сразу же после экзаменов уехал в Россию и результаты узнавал уже оттуда.

Что касается самого курса – очень интересный и весьма полезный, с очень хорошим оформлением слайдов (анимация, видео и т.п.).

Физика микрофлюидных систем (1 кредит ECTS)

Цель:

Изучение базовых физических принципов транспорта жидкостей в микрофлюидных системах и лабораториях на чипе

Программа курса:

- Влияние уменьшения масштаба на силы
- Динамика жидкостей в микроканалах, электрические аналогии
- Диффузия и смешивание
- Капиллярные эффекты
- Электрокинетика в жидкостях
- Методы приведения в движение жидкостей в маленьких масштабах

Способ подачи материала – как у нас: доска и мел, что сильно огорчило в самом начале. Но микрофлюидика меня заинтересовала ещё в Турине, когда мы делали проект,

посвященный микрофлюидному переключателю, поэтому в дальнейшем на способ подачи материала я перестал обращать внимание и старался сконцентрировать внимание на самом предмете: все записывать и сразу улавливать. Единственный раз, когда преподаватель воспользовался проектором, была последняя лекция, на которой нам показали много очень интересных примеров.

Курс состоял из теории (описание явления, иллюстрации, законы, формулы) и большого числа задач, использующих эти законы и формулы.

Вывод:

Моя оценка: 12,5/20. На экзамене в течение часа необходимо было решить 4 задачи с достаточно большим числом вопросов. Можно было пользоваться своими лекциями. Несмотря на то, что курс в целом был понятен и у меня были все лекции, решить все задачи не удалось: как оказалось позднее, некоторые из них было насколько простыми, что я даже не подозревал и искал более сложное решение.

Молекулярная биология (2 кредита ECTS)

Цель:

Введение в молекулярную и клеточную биологию

Программа курса:

- Структура и функции протеина
- Нуклеиновые кислоты и генетический код
- Контроль экспрессии генов
- Катализ ферментов
- Анализ и модификация протеинов и нуклеиновых кислот
- Генная инженерия
- Мембраны и клеточные ячейки
- Ионные каналы и нейроны
- Антитела и иммунитет
- Управление клеточным циклом, раковые заболевания

Воспринимать биологию мне было тяжело с самого начала. Это один из предметов, для которого крайне желательно наличие базовых знаний. В Турине у нас был факультативный курс (его не было в расписании) по молекулярной биологии, однако посещать его у меня не было никакого желания: мало того, что предмет непростой, так ещё и преподаватель настолько плохо говорил по-английски, что слушать курс было просто невозможно.

Таким образом, учитывая то, что данный курс я не выбирал, в биологию я так и не начал вникать.

Вывод:

В Гренобле много внимания уделялось молекулярной биологии, биоМЭМС, лабораториям на чипе (подробный анализ, например, крови выполняется всего одним микрочипом, отсюда и его название), а также технологическим процессам создания соответствующих микро- и наноструктур. На мой взгляд, это связано с тем, что наномедицина – одна из самых перспективных и наиболее востребованных отраслей nanoиндустрии (многие заинтересованы в эффективном лечении рака, диабета и др. серьезных заболеваний).

Блок «Микротехнологии»

САПР микросистем (1 кредит ECTS)

Цель:

Начиная с основ микросистем, в рамках курса будут изучены принципы САПР для моделирования микросистем, а также сопутствующие инструменты.

Программа курса:

- Описание задач, стоящих при моделировании микросистем: многодоменное физическое моделирование
- Концепции поведенческого моделирования и моделирования методом конечных элементов
- Примеры существующих коммерческих средств моделирования и их характеристики.
- Пример моделирования простой микроструктуры
- Упражнения и лабораторные работы

Курс был разбит на несколько частей: на первой лекции профессор рассказывал про микросистемы в целом, принципы их моделирования, проблемы и пр. (согласно программе курса). Все остальные лекции были посвящены языку *VHDL-AMS* (*AMS – analog and mixed-signal* – для аналоговых и смешанных сигналов). *VHDL* читала какая-то ассистентка (или аспирантка): слайды были ужасные (все смешано в кучу, никакой логической связи между слайдами, ничего не понятно, крайне низкое знание английского языка).

Также был семинар, посвященный разбору примеров из статьи, связанной с тематикой курса. В качестве домашнего задания выдавалась другая статья (одна на всех) с тремя примерами моделирования микросистем в пакете *SPICE*: необходимо было повторить результаты и сдать отчет с собственными графиками, схемами и пр. (один отчет на группу из двух студентов). Данное домашнее задание показало недостаточность моих базовых знаний по электротехнике: все микросистемы, которые мы изучали, необходимо было представить в виде эквивалентных электрических схем (резисторы, конденсаторы, катушки, трансформаторы), а затем проводить их анализ (в пакете *SPICE* или др.). Представить микросистему в виде эквивалентной электрической схемы для меня не было трудным (это было новым для всех, поэтому базовые знания особо не требовались), а вот анализ уже электрической схемы вызывал трудности. Хорошо, что со мной в группе был итальянец, которого можно смело назвать самым продвинутым электронщиком в нашей группе :-). На протяжении всего курса я его активно «мучил» вопросами, и он охотно помогал (итальянцы, в отличие от французов, гораздо приветливее).

В рамках курса были 3 лабораторные работы (входили в общий список лабораторных работ, хотя отчет по ним влиял только на оценку по данному предмету). Каждая группа по проекту (8 человек, подробнее см. «Проект по микро и нанотехнологиям») была разбита на подгруппы из двух человек (те же, что и для домашнего задания), которые вместе сидели за одним компьютером и выполняли работу. На каждой из работ изучались различные пакеты моделирования микросистем, а также язык *VHDL*. В рамках первой работы мы изучали язык *VHDL* на примере моделирования кантилевера и активной массы микроакселерометра в программах *SMASH* и *ADvance MS* (в данном случае, моделирование – задание известных и неизвестных величин, составление уравнений, описывающих поведение системы и их решение). На второй лабораторной работе мы изучали пакет *M2Architect* на примере моделирования кантилевера (в данном случае, под моделированием понимается создание геометрии самой системы с помощью графического интерфейса, определение граничных условий, приложение сил и нахождение решений – т.е., по сути, метод конечных элементов). Третья лабораторная работа была посвящена изучению системы *Cadence* на примере микроакселерометра. Данная система позволяет, в частности, разрабатывать топологию микросистем, с учетом современных технологий их производства (мы работали с модулем

PolyMUMPS, используемым для систем с различными слоями поликремния, разделенными расходуемым (*sacrificial*) оксидом): была создана многослойная структура микроакселерометра, представляющая собой активную массу, «подвешенную» между двумя электродами, определены межсоединения и контактные площадки. Также *Cadence* позволяет экспортировать геометрию микросистемы в *ANSYS* – самую мощную систему моделирования методом конечных элементов.

Вывод:

Моя оценка: 13,5/20. На экзамене в течение двух часов необходимо было решить две задачи, аналогичные тем, что разбирали на семинаре (только, как всегда, более сложные :-). Также необходимо было ответить на 4 небольших вопроса по микросистемам и решить тест из 7-ми вопросов (указать, правильно ли утверждение или нет). Пользоваться ничем нельзя. В отличие от всех других экзаменов по данному курсу (а также по курсу «Основы микросистем») был не в конце половины семестра, а на три недели раньше («Основы микросистем» – на две), посреди лекций. Данный подход не выдерживает никакой критики: я был вынужден на утренней лекции по литографии (см. «Литография следующего поколения») готовиться к послеобеденному экзамену :-(Понятно, что пользы от такой лекции было мало (ноль).

В целом, курс оказался достаточно сложным (из-за недостаточных базовых знаний электротехники), однако он является крайне важным для современных микросистем. Принцип моделирования микросистемы (о котором нам начали рассказывать еще в Италии в рамках курса «САПР и конструирование микросистем»), сводящийся к замене ее эквивалентной электрической схемой, является очень мощным средством и позволяет моделировать достаточно сложные системы без существенных допущений. Изучаемая в 3-й лабораторной работе система *Cadence* в настоящий момент очень широко используется в процессе разработки и создания (воплощения «в железе») микросистем, а без применения языка *VHDL* не обходится ни одна задача создания более или менее сложных систем.

От микро к нанoeлектронике (1,5 кредита ECTS)

Цель:

Дать представление о проблемах, возникающих при уменьшении размеров транзисторов до нанометровых масштабов. Основное внимание будет уделено физике короткоканальных транзисторов.

Программа курса:

- Основы длинноканальных транзисторов
- Короткоканальный МОП транзистор:
 - уменьшение подвижности из-за шероховатости поверхности;
 - «размножение» порогового напряжения;
 - скорость насыщения;
 - квантовые эффекты:
 - локализация и туннелирование;
 - баллистический предел;
 - МОП полевой транзистор: фактор масштабирования и масштабирование напряжение
- Основные направления развития полупроводниковых технологий

По содержанию курс является логическим продолжением курса «Полупроводниковые устройства», который нам читали в Италии. В течение нескольких первых лекций нам напомнили основы длинноканальных транзисторов (с длиной канала в микронном диапазоне), а затем начали читать физику короткоканальных транзисторов (с длиной канала в нанометровом диапазоне, т.е. современные транзисторы, используемые в процессорах *Intel* или *AMD*). В данном курсе речь шла только о канальных МОП транзисторах. Я сразу проникся интересом к данному предмету: несмотря на просто огромное число формул, было интересно узнать, зачем используются такие современные материалы и технологии как диэлектрики с низкой диэлектрической проницаемостью (*Low-k dielectrics*), кремний на изоляторе (*SOI – Silicon On Insulator*), металлические затворы (в отличие от поликремниевых), а также транзисторы с двумя затворами и другие экзотические устройства.

Вывод:

Моя оценка: 17/20. На экзамене необходимо было в течение двух часов решить задачу, состоящую из 7 частей, по 2-3 вопроса в каждой. Нам досталась проблема германиевых транзисторов: мобильность, транспорт сильного поля, баллистические эффекты, пороговое напряжение, эффект короткого канала и др. Весь день перед экзаменом я просидел пытаюсь (безуспешно) прорешать примеры предыдущих экзаменов. В 10 часов вечера уже хотел бросить и пойти спать (надеясь на удачу :-), как вдруг одна из очередных попыток принесла правильный результат (в предыдущих экзаменах были указаны ответы). Все дело оказалось в модели (всего их было около 5), которую необходимо было применить для решения задачи. Применяя данную (а также более простые) модели удалось прорешать большую часть вопросов. Очевидно, что и на экзамене встретились те же модели.

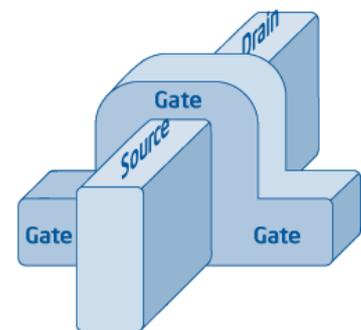
Основы микросистем (2 кредита ECTS)

Цель:

Изучение основ микросистемной техники, на примерах микросенсоров, микроактуаторов и других приборов.

Программа курса:

- Датчики давления: принципы; пьезорезистивные, емкостные и резонирующие структуры; применение «center-boss»; проблема применения при высоких температурах и способы ее решения (кремний на изоляторе, карбид кремния); медицинские датчики давления
- Акселерометры: принципы; пьезоэлектрические, пьезорезистивные, емкостные, резонирующие, туннелирования и обратной связи структуры; коммерческие устройства
- Акустические сенсоры: принципы; *APM (Acoustic Plate Mode – плоская анодная волны)*, *SAW (Surface Acoustic Wave – поверхностная акустическая волна)*, “Love-wave” (направленная акустическая волна), *FPW (Flexural Plate Wave – изгибная анодная волна)*, структуры *TSW (Thickness Shear-Mode – сдвиговая волна по толщине)*; применение для измерения температуры, силы, ускорения, крутящего момента, влажности, точки росы, потока, электронного шума; методы измерения; беспроводные конфигурации; примеры жидкостных актуаторов (приводов)



Транзистор *Intel®*
с тремя затворами

- Датчики потока: принципы; конфигурации с проводником высокого сопротивления (*how wire*); анемометрическая и «время полета» конфигурации; примеры прототипов и коммерческих устройств; подъемная сила и *ISFET (Ion-Sensitive Field-Effect Transistor* – канальный транзистор с изменением концентрации ионов)
- Микрофлюидика: проблемы масштабирования; преимущества и недостатки; материалы; микроканалы, микромиксеры, микрофильтры, микровентили (активные, пассивные и фиксированные), микропомпы (с движущимися или без движущихся частей)
- Химические сенсоры: газовые сенсоры (структуры на основе канальных МОП транзисторов); структуры на основе микро-нагревательных плит; проблемы чувствительности, селективности и дрейфа; чувствительность к H_2 , *ISFET*
- Биохимические сенсоры: материалы и принципы трансформации (потенциометрические, амперометрические, термические, оптические, гравиметрические); процессы биораспознавания и иммобилизации; *ISFET*, *ENFET (Enzyme Field-Effect Transistor* – ферментный полевой транзистор), *IMFET (Internally Matched Field Effect Transistor* – внутренне согласованный полевой транзистор – понятия не имею, что это такое :-)) ; проблемы упаковки
- Микросистемы для биомедицинского применения: принципы; диагностические системы; доставка лекарств; разработка тканей; терапия и хирургические устройства с минимальным воздействием
- Микроустройства для геномной диагностики: ДНК, ПЦР (полимеразная цепная реакция), флуоресцентные методы, рестрикционное расщепление, электрофоретическая сепарация, гибридизация, проблемы масштабирования, микроустройства для ПЦР, интегрированные микрочипы для анализа ДНК
- МЭМС для производства энергии: топливные элементы; различные виды, примеры и применение *PEMFC (Proton Exchange Membrane Fuel Cells* – топливные элементы с протонообменной мембраной) и *DMFC (Direct Methanol Fuel Cells* – прямые метанольные топливные элементы)
- Оптические микроустройства: технология *DLP (Digital Light Processing* – цифровая обработка света); структура и применение *DMD (Digital Micromirror Device* – цифровое микрозеркальное устройство)

Данный курс является продолжением курса «Физика технологических процессов и микросистемы», который нам читали в Италии. Ознакомившись в Италии с подавляющим большинством технологий изготовления современной микросистемной техники (и не только :-)) , а также с базовыми понятиями самих микросистем, теперь основное внимание можно было уделить разновидностям микросистем, принципам их работы, областям применения и, конечно же, множеству примеров.

Преподаватель вел тот же, что и в Италии. Ему приходилось ездить из Турина в Гренобль на лекции (около 4-х часов на поезде с одной пересадкой). Чтобы свести к минимуму число поездок, расписание было составлено таким образом, чтобы в течение двух недель прочитать весь курс (2-3 дня в неделю по 4 часа в день). Таким образом, у нас получилось две недели интенсивных курсов по микросистемам :-)

Вывод:

Моя оценка: 12/20. По структуре экзамен был как и в Италии – множество вопросов (открытых и с вариантами ответа), ничем пользоваться нельзя. Как уже было указано выше, экзамен по данному предмету был не в конце половины семестра, а на две недели раньше. Не могу сказать, что не хватило времени на подготовку, но я не могу смириться с наличием 4-х часов занятий перед экзаменом.

Один из самых интересных предметов. Именно благодаря нему мы теперь знаем, какие микросистемы (МЭМС) бывают, зачем они вообще нужны, а также все технологические аспекты их создания.

Литография следующего поколения (1,5 кредита ECTS)

Цель:

Изучение основ современных литографических процессов, используемых в научно-исследовательских работах и промышленном производстве.

Программа курса:

- Оптическая литография: введение, иммерсионная литография, маски, освещение, эффекты оптической близости
- Электронно-лучевая литография: взаимодействие электронов с веществом, электронная оптика, эффекты близости
- Нанопечатная литография: свойства полимеров, описание процесса
- Резисты: позитивные и негативные резисты, химия, полный технологический процесс

Лекции начались с оптической литографии и в самом начале ничего нового нам не рассказывали. Более подробно была рассмотрена электронно-лучевая литография (в частности, описание лежащих в основе физических процессов, а также проблемы данной технологии). Про нанопечатную литографию нам до этого почти ничего не рассказывали, поэтому этот процесс можно считать новым. В разделе про резисты было достаточно много химии (описание химических реакций, протекающих в процессе экспозиции).

Стиль изложения материала мне не понравился с самого начала. Несмотря на то, что преподаватель (очень молодой, хотя для Запада это характерно) читал лекции по слайдам, делал он это как-то не уверенно. Та же ситуация с рассмотрением примеров и решением задач (на доске). Не могу вспомнить ни одного вопроса, на который он дал вразумительного, исчерпывающего и понятного ответа. Как-то все поверхностно.

Вывод:

Моя оценка: 9,5/20. На экзамене в течение двух часов необходимо было решить 2 объемные задачи и ответить на 6 открытых вопросов. Пользоваться можно было только калькулятором и одним листиком с формулами (необходимо было подготовить самому, как шпаргалку). Одна из задач была посвящена нанопечатной литографии, которую я так и не усвоил (во время той лекции я готовился к экзамену по курсу «САПР микросистем»). Несмотря на то, что в целом экзамен был достаточно простой, не все вопросы были понятны: приходилось додумывать, что преподаватель имел в виду. Также я не заметил приложения к экзамену в самом конце, в котором была приведена справочная информация, посчитав это ещё одной задачей :-)

В целом, предмет мне не понравился, особенно, как его преподавали: я бы предпочел изучить данный курс самостоятельно или с другим, более «интересным» преподавателем.

Блок «Микроэлектроника»

Разработка аналоговых интегральных схем (2 кредита ECTS)

Цель:

Изучение принципов разработки аналоговых интегральных микросхем (а также аналоговых частей СБИС). Разработка топологии устройств и базовых схем, используемых в МОП технологии, а также изучение принципов лежащих в их основе.

Программа курса:

- Интегральные компоненты
- МОП транзисторы: структура и режимы работы, модели больших и малых сигналов, температурный режим и тепловой шум; работа в биполярном режиме; типовой технологический процесс и топология
- Пассивные устройства: конденсаторы и резисторы; МОП транзистор, используемый в качестве сопротивления, диода или межсоединения
- Паразитные устройства и паразитные эффекты: паразитные емкости и резисторы, токи утечки и паразитные каналы, защелкивание. Пробой затвора и его защита
- Компромиссы при разработке таких базовых аналоговых устройств, как усилители, дифференциальные пары, токовые зеркала, каскодные схемы

Данный курс читался профессором из *Ecole Polytechnique Federale de Lausanne (EPFL, Федеральный политехнический институт Лозанны, Швейцария)*, который также является куратором данной магистерской программы со стороны *EPFL*. Я общался с ним по электронной почте, и он мне показался не очень приветливым: ответы его были достаточно резкими, без каких-либо подробностей (в отличие от того же куратора из Италии). Видимо, это из-за того, что он очень занят и у него нет времени на разговоры со студентами (как мне сказали, он – *VIP* персона на международном уровне :-). На практике выяснилось, что это не так и профессор достаточно дружелюбный: крайне подробно рассказывал, повторял много раз непонятные моменты, просил самих студентов выйти к доске и объяснить другим (чтобы все лучше поняли).

Так же как и курс «Основы микросистем», который читал профессор из Италии, данный курс был прочитан всего за две недели (2 дня в неделю по 4-6 часов в день!). Мало того, что я боялся данного курса с самого начала (из-за недостаточных базовых знаний по электротехнике и аналоговой схемотехнике), так ещё и 6 часов в день предстояло высидеть! Однако все оказалось не так страшно: очень хорошие слайды, подробно описываемые профессором, а также отведенное время для самостоятельного решения задач (около часа, в течение которого можно было ничего не делать, т.к. правильно решение было представлено :-)).

Вывод:

Моя оценка: 16/20. На экзамене в течение двух часов необходимо было решить одну задачу, состоящую из большого числа вопросов (каскодная схема дифференциального усилителя с токовым зеркалом). Можно было пользоваться любыми материалами курса (слайды, лекции, а также распечатки учебных пособий). Схема на экзамене была очень похожа на один из примеров, который мы досконально разобрали на лекциях :-)) (отличие в одном транзисторе, а также зеркальное отражение всей схемы), поэтому я, не долго думая, успешно адаптировал пример под экзаменационную задачу. В итоге я ответил почти на все вопросы в течение первого часа, а в оставшееся время расписал ответ на последний вопрос. Экзамен показался подозрительно легким.

Таким образом, данный предмет оказался совсем не таким страшным, каким казался в начале: не только благодаря профессору, который умел доходчиво объяснить, но также и

тому, что в рамках курса мы занимались не столько разбором самих схем (как, например, в электротехнике), сколько подбором параметров МОП транзисторов (что для меня значительно интереснее, чем биполярные) для выполнения заданных условий. Особое внимание уделялось подгонке транзисторов путем выбора ширины канала (чтобы транзистор работал в режиме сильной инверсии), влияющей, в конечном счете, на такие параметры схемы как выходное сопротивление, напряжение насыщения, полосу пропускания и многие другие. Тем не менее, профессор несколько раз говорил, что 3-й семестр в Швейцарии будет почти полностью посвящен электронике :-)

Разработка цифровых интегральных схем (2 кредита ECTS)

Цель:

В рамках курса рассматриваются основные принципы разработки цифровых электронных систем в виде интегральных КМОП микросхем. В конце курса студент получит общее представление о данном предмете, научится разрабатывать функциональные блоки, а также оптимизировать составляющие их элементы.

Программа курса:

- Введение
- КМОП процесс
- Методы и рабочие циклы проектирования
- Пассивные и паразитные элементы в КМОП интегральных схемах
- Статический КМОП инвертор
- Статическая КМОП комбинационная логика
- Динамическая логика
- Временная синхронизация в СБИС
- Макроячейки
- Введение в *VHDL*
- Схемы ввода-вывода

Курс вела женщина-профессор. Слайдов не было – все на доске: как она объяснила, она знает, как делать слайды, но материал на доске усваивается лучше. Я абсолютно не разделяю её мнение. По распечатанным слайдам значительно удобнее следить за курсом, делая необходимые заметки в случае необходимости. Невозможность порой разобрать, что нарисовано на доске (были достаточно большие схемы), не только у меня одного вызывало раздражение и недовольство – вместо того, чтобы следить за предметом, приходилось крутиться и списывать у тех, кто сидит ближе или видит лучше. Что можно было писать на доске – так это решение задач, однако, например, профессор курса «Разработка аналоговых интегральных схем» даже решение задач оформил в виде слайдов, за что ему большое спасибо.

На двух последних лекциях профессор таки воспользовалась проектором, но слайды были на французском – большое спасибо, учитывая то, что на экзамене одна из задач была на эту тему. Что мешало перевести слайды на английский язык – не понятно, учитывая то, что говорила она на нем очень неплохо.

Сам курс в целом был достаточно интересным: около одной трети курса, посвященной цифровым элементам (инверторы, И-НЕ, ИЛИ-НЕ и др.), я знал из курса нашей кафедры по цифровой микросхемотехнике. Вторая половина курса была посвящена пассивным и паразитным элементам в КМОП интегральных схемах, в частности задержкам, возникающим в цепях передачи данных современных ИС (паразитные емкости на входе и на выходе цепи): нас учили рассчитывать эти задержки и правильно расставлять логические элементы в цепях

(чтобы задержки в разных ветвях были одинаковыми) – весьма важно для современной электроники, но очень скучно. Третья часть была посвящена языку *VHDL* – только не для моделирования систем смешанных и аналоговых сигналов, как в курсе «САПР микросистем», а для цифровых интегральных схем.

Вывод:

Моя оценка: 10/20. На экзамене в течение двух часов необходимо было решить 4 задачи, а также ответить на несколько вопросов по *VHDL* (в частности, написать небольшой код). Задачи достаточно простые, кроме последней (как раз на тему последней «французской» лекции – о конечных автоматах). Я написал практически всё, однако несколько запутанно. Как было указано выше, проверить, что именно было неправильным в моем ответе (а это было бы не только интересно, но и крайне полезно) я не успел.

В целом курс оказался достаточно полезным (лично для меня, в большей степени благодаря изучению *VHDL*), но который можно было бы сделать более легко усваиваемым, переведя лекции в формат слайдов – получилось бы очень хорошее пособие, которое можно было бы использовать в будущем.

Лабораторные работы по микро и наносистемам (3 кредита ECTS)

Цель:

Познакомить студентов с полным производственным циклом микро- и наноструктур: моделирование с использованием современных САПР, изготовление, тестирование и контроль.

Программа курса:

- Моделирование микро- и наноструктур
- Современные технологии производства микро- и наноструктур
- Исследование микро- и наноструктур:
 - методами сканирующей зондовой микроскопии;
 - контроль электрических параметров
- Наноманипуляция

В самом начале семестра студенты должны были объединиться в группы по 8 человек (желательно, из разных стран) для работы над проектом (см. «Проект по микро и нанотехнологиям»), а каждая группа – на 2 подгруппы по 4 человека – для прохождения лабораторных работ. Мы собрали группу, почти не отличающуюся от той, что была в Италии по проекту. Однако затем состав всех групп был значительно изменен из-за курса французского языка: у студентов был разный уровень знания языка, и поэтому необходимо было их распределить по разным группам. В итоге в моей группе оказалось 4 итальянца, 2 китайца, 1 студентка из Индии, а в моей подгруппе – 3 итальянца. Наша подгруппа впоследствии получила название «*La Famiglia*», т.к. один из итальянцев родом с Сицилии :-)

Т.к. расписание было очень плотным (о чем будет написано ниже), то во избежание накладок, состав данной группы был также утвержден на проект и лабораторные работы. Тот же состав группы был утвержден для прохождения лабораторных работ по биочипам (см. «Лабораторные работы по биочипам») и по предмету «САПР микросистем», которые оценивались отдельно. После распределения по подгруппам нам выдали расписание всех лабораторных работ с указанием, какая подгруппа идет на определенную работу, и в какой день.

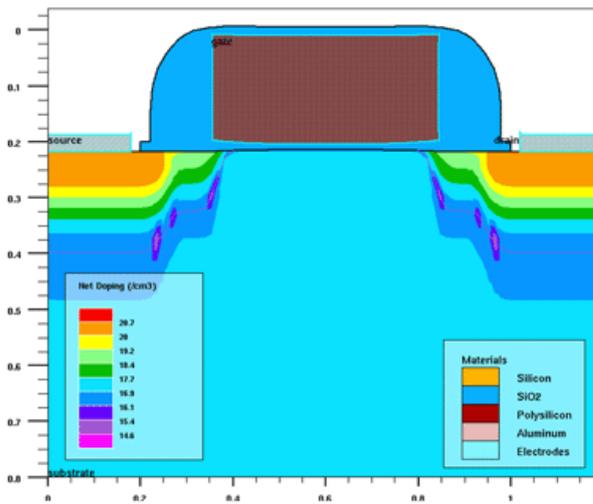
Во время лабораторных работ каждая подгруппа разбивалась ещё на 2 части по 2 студента (см. также описание лабораторных работ по курсу «САПР микросистем»), которые

вместе работали на компьютере, проводили измерения на одном приборе и т.д. Почти для каждой работы необходимо было подготовить и сдать 1 отчет на группу из 4-х или 2-х человек (по наноманипуляции – индивидуальный отчет). Данные отчеты оценивались, и затем проставлялась средняя оценка за весь курс работ.

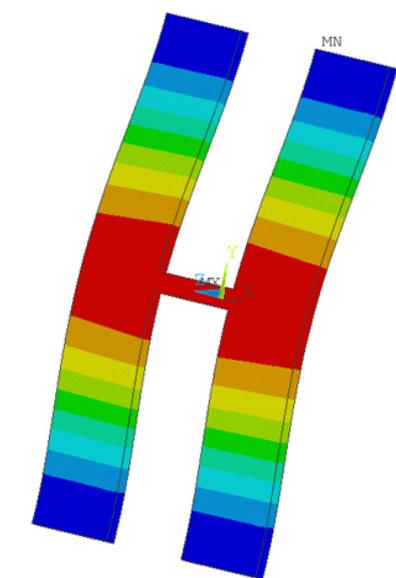
Лабораторные работы были разделены на 5 блоков: “S” (*Simulation* – моделирование), “T” (*Technology* – технология), “N” (*nano*), “C” (*Characterization* – тестирование и контроль), “nM” (*nanoManipulation* – наноманипуляция). В каждом блоке – 4 работы по 4 часа (наноманипуляция – 1 работа).

В рамках первой лабораторной работы из блока “S” (далее, просто “SI”), мы изучали пакет *ATHENA*, предназначенный для моделирования технологических процессов создания микро- и наноструктур. В частности, мы разработали технологический процесс изготовления МОП транзисторов, среди которого были такие операции как легирование, термическое окисление, ионная имплантация, отжиг и активация примесей, нанесение слоя металлизации, травление, задание электродов. Для каждой операции можно было задать массу различных параметров и после повторного просчета получить результат.

После проведения операции металлизации, а также задания электродов, структуру можно экспортировать в пакет *ATLAS* для проведения моделирования электрических параметров, чем мы занимались в рамках работы “S2”. В *ATLAS* были промоделированы 2 транзистора с разной длиной канала: 2 мкм и 12 мкм. В этом случае транзистор с длиной канала 12 мкм можно было отнести к длинноканальному, а с 2 мкм – короткоканальному (см. также курс «От микро к нанoeлектронике»). Были изучены передаточные (зависимость тока стока от напряжения на затворе при разных значениях напряжения между стоком и истоком, что позволяет найти пороговое напряжение) и выходные (зависимость тока стока от напряжения между стоком и истоком при разных значениях напряжения на затворе) характеристики транзисторов в разных режимах работы: линейном и насыщения. Результаты моделирования полностью подтвердили теорию, изученную в рамках курса «От микро к нанoeлектронике».



Структура транзистора в пакете *ATHENA*

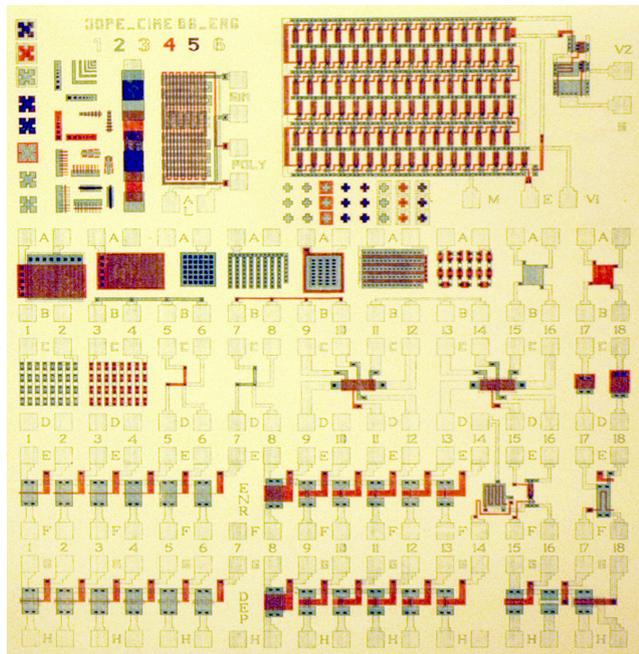


Моделирование колебаний Н-резонатора на 1-й резонансной частоте в *ANSYS*

Лабораторные работы “S3” и “S4” были посвящены моделированию микросистем в пакете *ANSYS* (методом конечных элементов). В *ANSYS* можно работать двумя способами: в графическом интерфейсе (в этом случае он напоминает пакет трехмерного моделирования) или в режиме командной строки (в этом случае необходимо составить исходный файл, который потом запускается из *ANSYS*). В обоих случаях имеется возможность просмотра результатов моделирования в графическом виде. Мы работали во втором режиме – с использованием исходных файлов (в этом случае можно контролировать каждый параметр и при необходимости вносить изменения).

Было проведено моделирование кантилевера (определены его резонансные частоты), микрорезонатора формы H (определены резонансные частоты и их зависимость от положения переключки), а также термоактуатора (изменение формы под действием приложенного к его концам напряжения и из-за разных коэффициентов температурного расширения).

Все 4 лабораторные работы блока “Т” были посвящены изучению технологических процессов создания микро- и наноструктур.



Тестовая структура

В один день было по две работы, т.е. по 8 часов в чистой комнате :-) – достаточно утомительно, но очень интересно. Я взял с собой фотоаппарат – никто из профессоров не был против :-) Чистые комнаты *INPG* (классов 100 и 1000) имеют очень большую площадь (значительно больше, чем в Италии) и разделены на две части: учебную и научно-исследовательскую. Студенты работают только в первой, но я настоял и нам показали ещё и последнюю.

Наша подгруппа занималась созданием тестовой структуры с использованием набора фотошаблонов (всего 6), изготовленных в лабораториях *INPG*, состоящей из транзисторов с разной длиной канала, конденсаторов, диодов и других элементов. Мы прошли весь цикл, начиная от очистки кремниевых пластин и заканчивая

металлизацией. Очистка пластин осуществлялась с помощью чрезвычайно опасной плавиковой кислоты (5% раствор HF), имеющей скрытый период действия и поражающий не ткани, как обычные кислоты, а кости (нас изрядно по этому поводу пугали :-)). Металлизация алюминием (с последующим травлением) осуществлялась в установке термического вакуумного напыления.

Среди других операций, которые мы выполнили, было легирование, ионная имплантация, фотолитография (контактная, с нанесением резиста, совмещением фотошаблонов, экспонированием, проявлением и задубливанием), термическое окисление (для выращивания подзатворного диэлектрика). Чтобы успеть сделать структуру целиком, некоторые операции фотолитографии, а также легирования были выполнены лаборантами в перерыве между нашими работами. После каждой операции фотолитографии осуществлялся контроль с помощью оптического микроскопа и профилометра.

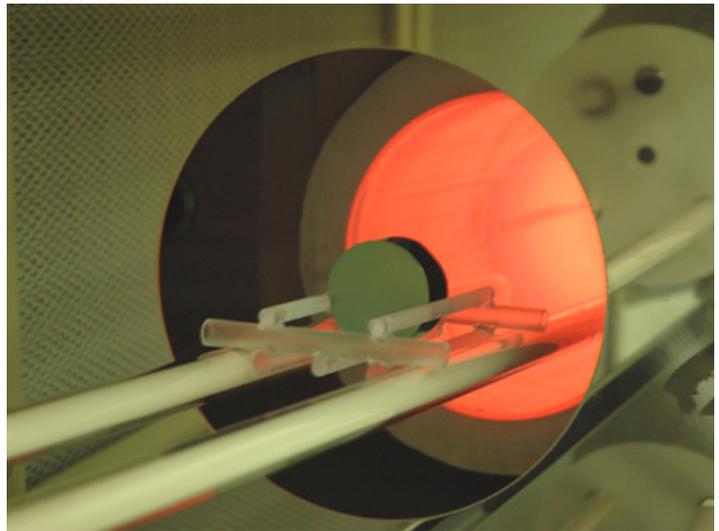
Полученные структуры затем использовались для проведения измерений в рамках других лабораторных работ.



Внутри лабораторий



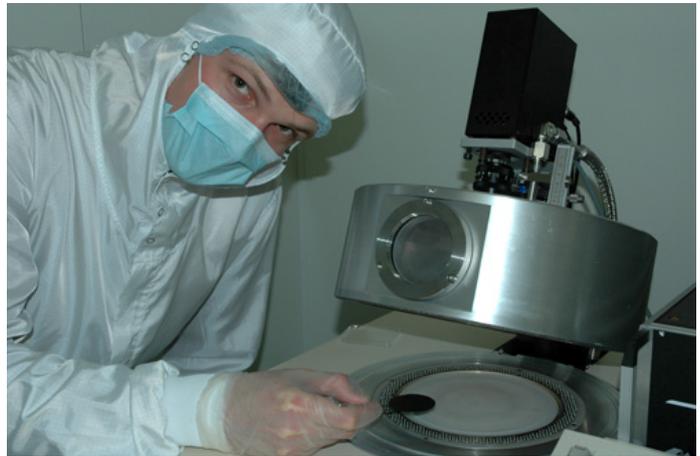
Очистка пластины в плавиковой кислоте



Термическое окисление в печи



Установка контактной фотолитографии



Загрузка пластин в установку реактивного ионного травления



Установка ионной имплантации



Сканирующий электронный микроскоп



Установка термического вакуумного напыления

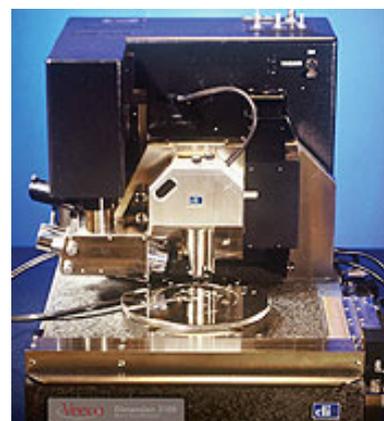


Установка магнетронного распыления

Оборудование в лабораториях есть для чего угодно – сложно представить, сколько это все стоит :-). Вообще, в здании центра *MINATEC* находятся много других чистых комнат, используемых только для реальных научных исследований и производства (*IMEP*, *CNRS*, *INRIA*, *CEA-Leti* и другие). Как нам говорил один из профессоров, стоимость часа работы в таких лабораториях просто астрономическая.

Лабораторные работы блока “N” также были очень интересны, т.к. они были целиком посвящены сканирующей зондовой микроскопии. Работа “N1” была вступительной, в течение которой нас вкратце ознакомили с СЗМ, и мы работали с программным обеспечением обработки изображений.

В рамках второй работы мы изучали атомно-силовой микроскоп (*Veeco Dimension 3100*) в контактном режиме: установка зонда, подвод зонда к поверхности образца, сканирование, отвод от поверхности – в общем, все стандартные процедуры. Следует заметить, что компания *Veeco* – обладатель патента на полуконтактный (*tapping*) метод сканирования :-). Стоимость микроскопа в стандартной конфигурации составляет около 200 тыс. евро. В одной из лабораторий *IMEP* (*Institut de Microelectronique Electromagnetisme et Photonique* – институт микроэлектроники и фотоники), расположенной в здании центра *MINATEC* и в которой работают многие из профессоров, которые читали нам лекции, установлен ещё один микроскоп (возможно, больше :-)) *Veeco Dimension 3100* с дополнительными модулями общей стоимостью 0,5 млн. евро.



АСМ *Veeco Dimension 3100*

Лабораторная работа “N3” была посвящена полуконтактному режиму работы того же АСМ. Был получен ряд изображений кремниевых наноструктур (нанопроводников, а также затворов МОП транзисторов) и проведен их сравнительный анализ с изображениями, полученными контактным методом. Интерфейс программы управления микроскопом *Dimension 3100* мне совсем не понравился: напоминает старую ДОСовскую программу. За 200 тыс. евро могли бы сделать и поудобней.



STM *easyScan nanoSurf*

Лабораторная работа “N4” была посвящена сканирующей туннельной микроскопии (СТМ). Первые два часа мы работали с программой-эмулятором сканирующего туннельного микроскопа (*Nanonis Virtual STM*), которая на самом деле является программой управления СТМ компании *Nanonis*. Это просто уникальная программа, с удобным интерфейсом, позволяющая в значительной степени ознакомиться с СЗМ, не имея реального прибора: множество тестовых структур, на которых можно проводить различные измерения, менять параметры сканирования и многое другое. Вторую половину лабораторной работы мы работали на СТМ *easyScan nanoSurf* – самом крошечном СЗМ, который я когда либо видел :-). На данном микроскопе мы изучали графен – слой графита толщиной в одну молекулу.

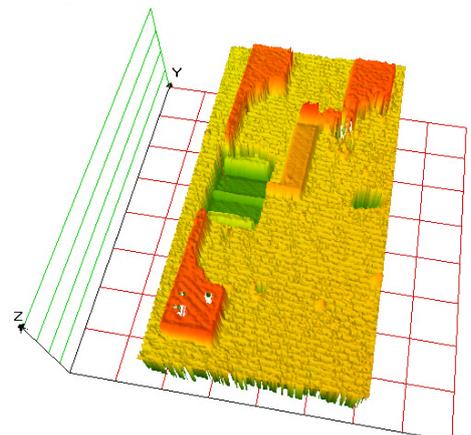


Оптический профилометр *Photomap 3D*

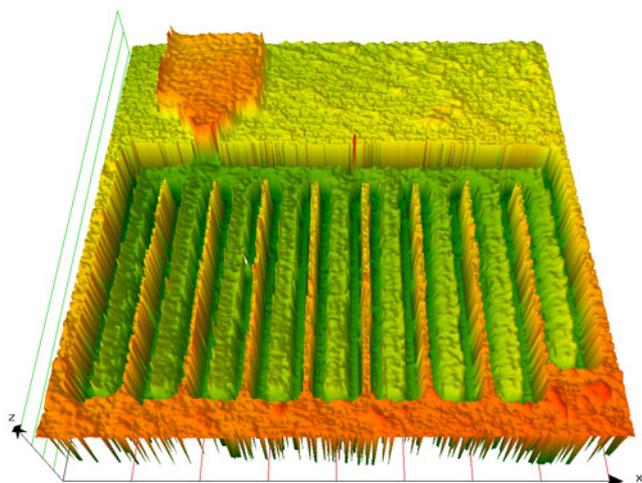
Лабораторные работы блока “С” были посвящены исследованию (характеризации) микро- и наноструктур. В рамках лабораторной работы “С4” мы изучали очень интересную установку трехмерной оптической профилометрии *Fogale Nanotech Photomap 3D*. Данный профилометр напоминает атомно-силовой микроскоп, работающий в реальном времени (скорость получения изображения значительно выше), хотя принцип получения изображения совершенно другой (не без недостатков).

Работая в статическом режиме, мы исследовали (получали трехмерное изображение) различные структуры, изготовленные нами в рамках лабораторных работ “Т”, в частности, транзисторы, диоды, алюминиевые контактные площадки и др.

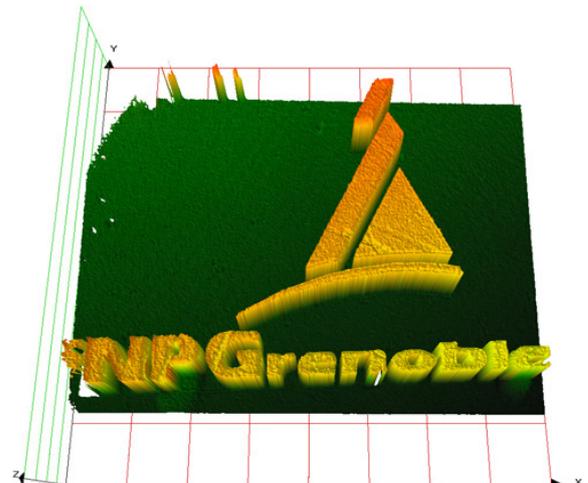
Работая в динамическом режиме, мы исследовали резонансные частоты кантилеверов с различными коэффициентами жесткости. Данный профилометр имеет режим стробоскопа, что делает его просто уникальным прибором для проведения подобных исследований (можно наблюдать колебания частотой порядка 500 КГц!).



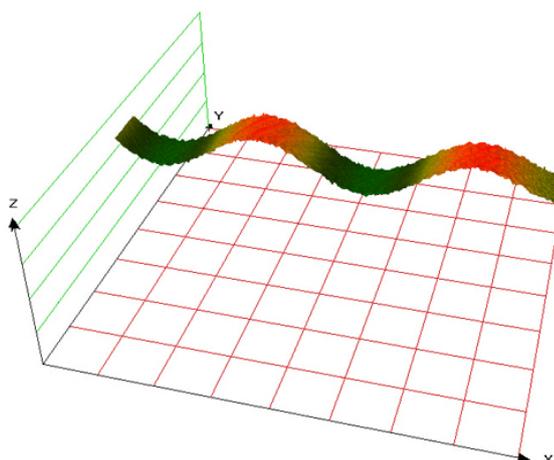
3D изображение транзистора (см. также нижнюю часть шаблона тестовой структуры)



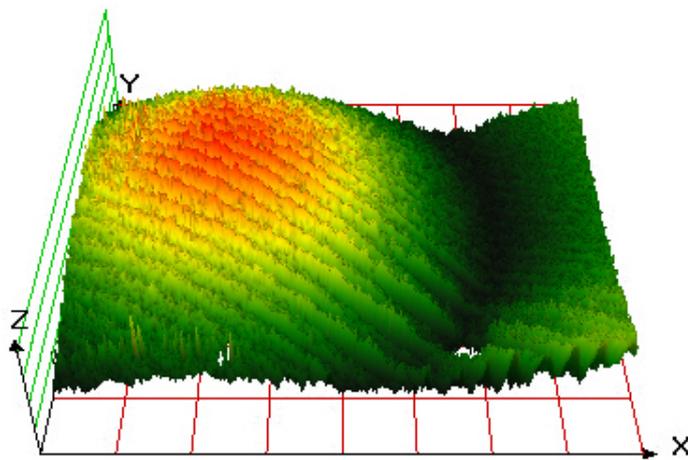
3D изображение диода



Часть логотипа INPG :-)



Колебания кантилевера на 4-й резонансной частоте (~500-600 КГц)



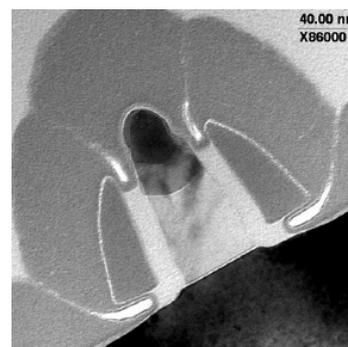
Колебания мембраны

Остальные работы блока “С” были посвящены исследованию электрических параметров структур, созданных нами в рамках работ блока “Т”. Электрические параметры измерялись с помощью прибора *Hewlett Packard (Agilent) 4155A (Precision Semiconductor Parameter Analyzer)*.

Работа “С1” была посвящена исследованию МОП структур (измерение емкостей окисла, полупроводника, определение степени легирования, плотности зарядов), а также характеристики диодов различной формы (обычной квадратной формы и в виде расчески – см. рис. «3D изображение диода» выше). Для каждого диода были построены вольтамперные характеристики в различных режимах работы (прямое и обратное включение, пробой) при различных внешних условиях (с источником внешнего излучения и без него – т.е. изучались также фоточувствительные свойства диодов).

Лабораторная работа “С2” была полностью посвящена характеристике МОП транзисторов с разными длинами канала (от 4 мкм до 12 мкм). Необходимо было получить передаточную характеристику транзистора (зависимость тока стока от напряжения на затворе при разных значениях напряжения между стоком и истоком) и с ещё помощью извлечь такие параметры как эффективная длина, пороговое напряжение, эффективная подвижность. Для извлечения данных параметров было проведено большое число аналитических вычислений с помощью пакета *MATLAB*.

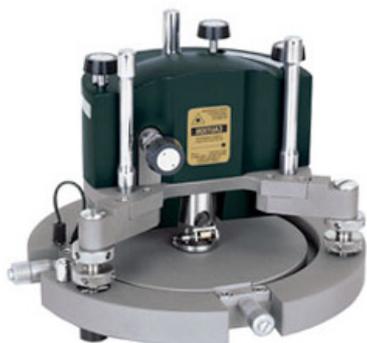
В рамках работы “С3” мы изучали короткоканальные эффекты в МОП транзисторах с разными длинами канала (от 10 мкм до 35 нм!), которые были любезно предоставлены компанией *STMicroelectronics* :-). Было исследовано влияние ультратонкого подзатворного диэлектрика на ток стока (а также на токи истока и затвора); индуцированное стоком снижение барьера (*Drain-Induced Barrier Lowering – DIBL*), оказывающее значительное влияние на выходную и передаточную характеристики транзисторов с короткими каналами. Также с помощью аналитических вычислений в *MATLAB* (одним из множества методов) были извлечены пороговые напряжения транзисторов, а также получены значения последовательного сопротивления (*series resistance*) и эффективной ширины затвора (длины канала).



ПЭМ* изображение МОП транзистора (*STMicroelectronics*)

* ПЭМ – просвечивающий электронный микроскоп (*TEM – Transmission Electron Microscope*).

Одной из последних была лабораторная работа “*nM*” – наноманипуляция. Сначала была вступительная теоретическая часть про принципы работы АСМ, а также виртуальную реальность. Затем – практическая часть. Смысл работы заключался в том, чтобы с помощью



СЗМ *SMENA*
(*NT-MDT*)

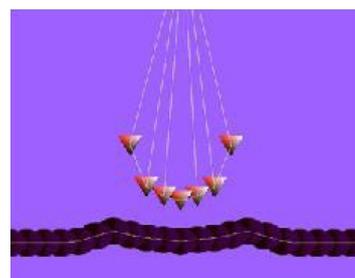
человеческий ощущений почувствовать (визуально, тактильно и на слух), что «чувствует» атомно-силовой микроскоп (*SMENA* производства *NT-MDT* :-), а также изучить принципы наноманипуляции. Можно было работать без виртуальной реальности – т.е. «снимать» сигнал напрямую с микроскопа. Нами была изучена динамическая кривая силы в процессе подвода зонда к поверхности, контакта и отвода при различных комбинациях «ощущений» (по отдельности, а также вместе – для того, чтобы понять, дает ли комбинация новую информацию). Самым эффективным было тактильное восприятие: в устройстве, построенном на базе электромагнитного привода, располагалось несколько металлических пластин. Данное устройство является очень гибким в

настройке: например, для исследования динамической кривой, мы использовали одну пластину, к которой была прикреплена ручка (мы за нее держались и «ощущали», что «там» происходит): перемещение пластины вверх-вниз соответствовало отталкиванию-притяжению зонда. Особенно наглядно мы «прочувствовали» упругость кантилевера в процессе подвода-отвода, а также прилипание кантилевера из-за сил Ван-дер-Ваальса – все это очень трудно описать, надо просто попробовать. Для наноманипулирования использовались 3 пластины, к которым был подключен джойстик: в процессе наклона его в разные стороны задействовались разные пластины, что приводило к движению в разных плоскостях (мы работали только с режимом виртуальной реальности, не подключая к ней сам микроскоп, чтобы ничего не сломать, а также ввиду ограниченности по времени). Звуковая информация представляла собой достаточно тихий свист (гул) разной частоты. Чем ближе к поверхности зонд, тем частота ниже. Одним из характерных и запомнившихся звуков был «шлепок» (резкое изменение частоты), соответствующий прилипанию (в процессе подвода) и «отлипанию» (в процессе отвода) зонда.



Тактильное устройство

Сама система виртуальной реальности является совместной разработкой лаборатории *INPG* и национального центра научных исследований *CNRS* в Гренобле. Одним из ее возможных применений может быть манипуляция нанотрубками. Задача размещения нанотрубки между электродами на подложке становится достаточно сложной в случае наличия на поверхности неровностей или посторонних объектов (пыль, например). Создав виртуальное пространство, представляющее собой стены в местах, где расположены нежелательные объекты, и наложив данное пространство на реальное, задачу манипулирования можно значительно упростить. В случае приближения к нежелательному объекту оператор просто будет ощущать что-то очень твердое, не дающее ему двигаться дальше в том же направлении. Нам показывали модель взаимодействия зонда с двумя молекулами на поверхности, учитывающей различные межмолекулярные взаимодействия.



Модель в виртуальной
реальности

Как уже было указано, почти для каждой работы необходимо было подготовить и сдать 1 отчет на группу из 4-х или 2-х человек. Как показала практика, никто из моей подгруппы оформлять отчеты толком не умеет: плохо структурируют данные; не умеют обработать графики, чтобы их можно было читать, не напрягая зрение; плохо верстают текст; а также допускают большое число грамматических ошибок в письменном английском. Поэтому мне приходилось многое переделывать.

Во всех лабораториях, где мы были, установлены рабочие станции *Sun* с операционной системой *Solaris*. Нельзя сказать, что данная система значительно менее удобна для работы с САПР, однако можно было бы значительно упростить процесс сохранения изображений с графиками, обработку данных и др., установив *Windows* (хотя под *Windows* все САПР платные). Я системой **nix* пользовался впервые, поэтому мне было неудобно. Тем не менее, это позволило мне немного освоить командную строку и оболочку *Gnome* :-)

Вывод:

Моя оценка: 16,3/20. Как уже было указано, почти для каждой работы необходимо было подготовить и сдать отчет. Данные отчеты оценивались, и затем проставлялась средняя оценка за весь курс работ.

В целом, очень интересные практические работы – именно то, чего не хватало в Италии.

Блок «Нанопизика – наноструктуры»

Микроскопия следующего поколения (2 кредита ECTS)

Цель:

Изучение основ сканирующей зондовой микроскопии (сканирующая туннельная, атомно-силовая, оптическая ближнепольная), ее применение в современных нанотехнологических исследованиях.

Программа курса:

- Архитектура сканирующего зондового микроскопа (СЗМ):
 - общие концепции;
 - аспекты: нанометровые перемещения, управление и др.
- Сканирующая туннельная микроскопия (СТМ):
 - принципы;
 - формирование изображения;
 - спектроскопия.
- Атомно-силовая микроскопия (АСМ):
 - различные режимы работы;
 - электросиловая микроскопия (*Electric Force Microscopy, EFM*) и наноэлектроника;
 - регистрация ультрамаленьких сил.
- Введение в сканирующую ближнепольную микроскопию (*Scanning Near-field Optical Microscopy, SNOM*):
 - ключевые концепции в ближнепольной оптике;
 - субволновая фотоника;
 - плазмоника и обнаружение отдельных нанообъектов.
- Наноманипуляция средствами СЗМ:

- квантовый «загон» (*quantum corral*), АСМ нанолитография, оптический нанопинцет.

Как следует из программы, данный курс был целиком посвящен СЗМ. Читали два профессора: один – СТМ, второй – АСМ. Ближнепольной микроскопии не было.

Профессор по СТМ подготовил слайды и читал лекции по ним. Не могу сказать, что очень интересно, но и не скучно: большое число формул компенсировалось интересными примерами.

Лекции по АСМ были очень интересными, несмотря на то, что профессор не подготовил никаких слайдов и писал все на доске, а также объяснял достаточно туманно. У меня сложилось такое впечатление, что его попросили прочитать данные лекции за несколько дней до их начала, т.к. материал был плохо структурирован. В целом, справился он неплохо :-)

Вывод:

Моя оценка: 9,5/20. На экзамене в течение двух часов необходимо было ответить на 3 объемных вопроса по СТМ, а также на 3 вопроса-задачи по АСМ. Пользоваться можно было любыми материалами курса. На мой взгляд, на вопросы по СТМ я ответил достаточно неплохо, а вот в АСМ части допустил множество ошибок. Причина заключается в том, что профессор по АСМ даже не упомянул, что нас ждет на экзамене, не говоря о том, как решать подобного рода задачи. Учитывая то, что до этого с задачами по АСМ я не сталкивался (только теория и практика сканирования), решить задачи на экзамене было проблематично. С другой стороны, с профессором по СТМ мы разобрали все вопросы с экзамена прошлого года.

В целом, курс мне очень понравился и особенно часть по АСМ. Несмотря на низкую оценку, я очень многое понял в АСМ, что считаю значительно важнее.

Наноструктуры: физика и транспорт (2 кредита ECTS)

Цель:

Изучение электронного транспорта в наноструктурах.

Программа курса:

- Краткое повторение электронных свойств, контролирующего поведение объемных (*bulk*) полупроводников: энергетические уровни, плотность состояний, эффективная масса, спонтанное время жизни и др.
- Специфические свойства, влияющие на электронный транспорт в наноструктурах:
 - баллистический транспорт и фазовая когерентность;
 - сопротивление точечного контакта, аналогия волновода;
 - формализм *Landauer-Büttiker*;
 - кулоновская блокада;
 - слабая локализация.
- Примеры и упражнения.

Самый сложный предмет. Несмотря на то, что материал лекций был значительно упрощен и профессор не нагружал нас выводами сложных формул, воспринимать данный предмет было достаточно тяжело – всё-таки квантовая физика. Почти на каждом занятии было по несколько примеров: в принципе, понятно, но стоит немного изменить условие задачи – начинаются проблемы :-)

Вывод:

Моя оценка: 8,5/20. На экзамене в течение двух часов необходимо было решить 4 большие задачи. Пользоваться можно было всеми материалами лекций. Двух часов мне не хватило, я успел написать ответ только на 2,5 задачи.

Получив низкую оценку на экзамене, я понял, что подход с подготовкой к экзамену за несколько дней до него не проходит – надо работать на каждой лекции (что я пытался делать, но в данном курсе у меня не получилось), усваивая материал по мере его чтения. Поэтому важно, чтобы на каждой лекции был распечатанный материал (чтобы делать заметки) или в случае его отсутствия – всё видно с доски (или экрана). Однако результаты других студентов несколько запутали мои выводы: итальянец из моей подгруппы по лабораторным работам, который любил физику, знал не просто тот или иной закон или как применить формулу, а то, что лежит в основе, получил на экзамене оценку 8 – из-за того, что профессор посчитал его ответ слишком запутанным и сложным (он, видимо, просто не понял ничего). В то время, как один китаец, который ещё за день до экзамена ничего не понимал и просил объяснить, получил 20!

В целом я считаю данный предмет малополезным. Нам читали достаточно специфичные аспекты физики наноструктур, которые в настоящий момент не только применяются весьма ограниченно, но и до конца не изучены, т.е. назвать данный предмет **основами** физики и транспорта наноструктур, изучив которые можно заниматься более сложными проблемами, нельзя.

Наноструктуры для оптического и магнитного применения (2 кредита ECTS)

Цель:

Изучение основ магнетизма и транспорта в магнитных наноструктурах; изучение наноструктур для оптического применения.

Программа курса:

- Магнитные наноструктуры:
 - основы магнетизма;
 - изготовление и исследование магнитных наноструктур;
 - магнетотранспорт (*Anisotropic Magnetoresistance*, *AMR* – анизотропное магнетосопротивление; *Giant Magnetoresistance*, *GMR* – гигантское магнетосопротивление; *Tunneling Magnetoresistance*, *TMR* – туннельное магнетосопротивление и др.);
 - применения: магнитная ОЗУ (*MRAM*) и магнитные профилированные носители (технология *Bit Patterned Media*);
 - дипольярные эффекты в наноструктурированных массивах.

- Наноструктуры для оптического применения:
 - основы: электромагнитное излучение (ЭМИ), взаимодействие ЭМИ с материей, электромагнетизм, электронные переходы в атомах, нелинейная оптика;
 - оптические свойства полупроводников;
 - экситоны;
 - квантовые структуры: квантовая яма, квантовая проволока, квантовая точка;
 - светодиоды и лазеры;
 - фотодетекторы;
 - фотоника и плазмоника.

Данный предмет был разделен на две части. Сначала один преподаватель читал про магнитные наноструктуры, затем другой – про оптические. Магнитная часть никак не пересекалась с предметом «*Магнитные микросистемы*». Сложных формул также не было: классификация устройств/явлений, принципы работы, технология и т.п.

Вывод:

Моя оценка: 13,8/20. На экзамене в течение двух часов необходимо было ответить на несколько вопросов по магнитной части, а также ответить на вопросы и решить короткие задачи по оптической части. Пользоваться ничем нельзя. В магнитной части никаких сложностей не возникло, с оптической было несколько сложнее (задачи – простые, а вот некоторые вопросы оказались достаточно сложными и объемными).

Я считаю данный курс абсолютно бесполезным! Так читать лекции, как это делала преподаватель по магнитной части нельзя: знания английского языка почти отсутствуют, ничего не объясняет (да и сама, видимо, не особо разбирается в материале). Профессор по оптической части говорил значительно лучше, однако у него просто отсутствовали преподавательские навыки. Исследователь и руководитель лаборатории он очень хороший (я ходил к нему в лабораторию), но преподаватель из него никакой: более 200 слайдов лекций, из которых он больше половины пропустил, говоря, что мы это должны знать; постоянно перескакивал с одной темы на другую (видимо, вспомнив о ней в процессе рассказа) и так ничего толком и не объяснял.

С таким же успехом можно было взять все материалы лекций и изучить их самостоятельно.

Другие предметы

Французский язык (2 кредита ECTS)

В начале семестра были организованы двухнедельные интенсивные курсы – по 4 часа 5 раз в неделю. Так как визу во Францию я сделал в Италии и приехал без опозданий, то курсы я прошел полностью. В конце – экзамен (в основном, тесты), на котором можно было пользоваться словарем (я пользовался *Lingvo* :-), в котором есть не только перевод, но и все времена глаголов, а также много другого полезного материала).

Основной курс проводился всего 1 раз в неделю (занятия по 2 часа) в течение первой половины семестра. В конце – также экзамен, но значительно сложнее.

Вывод:

Моя оценка: 16/20. На экзамене было две части: грамматика (необходимо было проспрягать около 20 глаголов в различных временах), а также самая сложная часть, где необходимо было описать изображенную картину. Ничем пользоваться нельзя. Сам экзамен я написал на 14/20 (грамматика – всего одна ошибка, зато достаточно много ошибок во второй части), но на конечную оценку повлияла также работа на занятиях и их посещения (за весь период я пропустил только одно занятие, да и то, только потому, что в объявлении о переносе лекции преподаватель допустила ошибку).

Данный предмет, безусловно, оказался крайне полезным, т.к. французы на улице не очень хорошо говорят на английском. Тем не менее, отсутствие практики привело к тому, что многое достаточно быстро забылось, а словарный запас перестал увеличиваться.

Английский язык

В общее расписание лабораторных работ входило также 4 занятия английского языка. К самым лабораторным работам данные занятия практически никакого отношения не имели – только то, что они проводились среди тех же групп, что и для лабораторных работ и проекта. Посещение занятий было обязательным (наверное, кредиты за них входили в общее число кредитов за лабораторные работы).

Преподаватель, несмотря на то, что сам француз, говорил по-английски просто великолепно.

Занятия были посвящены составлению резюме, написанию письма-мотивации, изучению правил общения с потенциальным работодателем, особое внимание уделялось фонетике (правильному произношению звуков, постановке ударения). Также для групп из четырех человек необходимо было подготовить доклад о проведенном анализе деятельности любой компании (сайт в Интернете, история создания компании, ее продукция). Наша подгруппа выбрала компанию *Agilent* (дочерняя компания *Hewlett Packard*), но выступить с докладом мы так и не успели (занятия были не очень хорошо спланированы по времени).

Отдельно стоит отметить аудиторию, в которой проходили занятия: два больших *LCD* телевизора, висящих на стене, между которыми располагался экран для проектора. Перед началом занятий преподаватель включал *BBC News* (или *CNN*). Каждый стол был оборудован специальной системой записи и воспроизведения аудио. Все рабочие столы были соединены в единую сеть, и преподаватель мог устраивать аудио конференции.

Вывод:

Моя оценка: 16/20. Основным заданием (индивидуальным) было выступление перед аудиторией с автобиографией: необходимо было подготовить презентацию на 10-15 минут. Оценка, полученная за данное выступление, ни на что не влияла.

Также необходимо было составить свое резюме; потом вместе с преподавателем разбирали основные ошибки.

Подводя итоги, можно сказать, что я остался очень доволен данным курсом. Это был один из не многих преподавателей, которого действительно хотелось слушать, да и сам предмет оказался весьма полезным (особенно правила общения с потенциальным работодателем).

Проект по микро и нанотехнологиям (2 кредита ECTS)

Цель:

Проведение научно-исследовательской работы на одну из заданных тем.

Как уже было указано, в самом начале семестра группа была поделена на подгруппы из 8 человек для выполнения проекта. Помимо «*La Famiglia*» (3 итальянца), в моей группе оказался ещё один итальянец, 2 китайца и 1 студентка из Индии.

Темы проекта были предоставлены профессорами, и каждая группа должна была выбрать наиболее ей интересную. Моя группа, в итоге, выбрала проект, посвященный солнечным батареям (я эту тему не выбирал, т.к. хотел больше работы по микросистемам и предчувствовал проблемы с моделированием солнечных батарей): эту тему выбрали 3 итальянца из «*La Famiglia*», а остальные просто не стали возражать (им просто было всё равно).

За проект отвечали 2 преподавателя и один аспирант, у которых можно было проконсультироваться.

Проект был разбит на 5 частей (фаз):

1. Библиографический анализ; физические принципы; список лабораторий и компаний, занимающихся данной тематикой.
2. Анализ рынка и разработка спецификации будущего продукта.
3. Архитектура проекта и календарный план.
4. Разработка продукта: физическое моделирование, моделирование электрических схем, технология изготовления.
5. Заключительная стадия. Объединение всех полученных результатов и написание отчета.

Проект был разбит на фазы с целью контроля над его развитием: в случае каких-либо недочетов давались советы, замечания и пр. В конце каждой фазы необходимо было подготовить промежуточный отчет и выступить с докладом о проделанной работе. Одним из советов было назначить на каждую фазу лидера, который бы руководил работами и представлял результаты в конце.

Как показала практика, никто из группы оформлять отчеты не умеет, так же, как и работать с материалами. В течение каждой фазы задачи распределялись, и каждый выполнял свою часть. Несколько раз получалось так, что кто-то нашел совершенно не то, что было нужно или оформил свою часть не подобающим образом – приходилось если не переделывать (на это времени совершенно не было), то хотя бы структурировать материал иначе. Именно поэтому сразу же после защиты первой фазы (достаточно неудачной), я всем сказал, что именно я буду заниматься оформлением отчета и сборкой презентаций. Также с самого начала я вызвался быть лидером на заключительной стадии.

Окончательное название проекта (менялось в процессе разработки): «Исследование и разработка многослойных $GaN/P/GaAs/Ge$ солнечных батарей».

Аннотация к проекту: «Целью проекта является исследование и разработка трехслойных $GaN/P/GaAs/Ge$ солнечных батарей. В рамках первой фазы проекта был проведен библиографический анализ, а также определены физические принципы, лежащие в основе. В результате выполнения первой фазы, в качестве основы будущей разработки было выбрано третье поколение солнечных батарей. В рамках второй фазы был проведен анализ рынка солнечных батарей и разработана спецификация солнечной батареи третьего поколения. В результате выполнения третьей фазы была разработана конструкция трехслойной $GaN/P/GaAs/Ge$ солнечной батареи и определены её основные компоненты. В рамках четвертой и пятой фаз было проведено полное моделирование разрабатываемого продукта: физическое моделирование, моделирование методом конечных элементов, электрическое моделирование, разработка технологического процесса изготовления продукта. В заключение были рассмотрены перспективы и применение трехслойных $GaN/P/GaAs/Ge$ солнечных батарей».

Самой продолжительной фазой была, несомненно, четвертая. Я отвечал за моделирование методом конечных элементов. Как я и предвидел в начале, моделировать солнечные батареи методом конечных элементов будет очень сложно ввиду отсутствия специально предназначенного для этого программного обеспечения. Безусловно, можно было загрузить все в *MATLAB*, но это требовало большого числа физических формул и выводов: именно поэтому физическое моделирование было поручено итальянцам, среди которых был «любитель» физики :-). Что касается метода конечных элементов, то изначально планировалось использовать один из наиболее широко распространенных пакетов (*ANSYS* или *COMSOL*) для проведения моделирования самых основных явлений, протекающих в солнечных батареях (поглощение света, электронный транспорт, генерация тока), т.к. в отличие от микросистем (для которых создано огромное число модулей) моделировать что-то более сложное было бы крайне тяжело. Именно поэтому, я с самого начала не хотел заниматься данной тематикой, т.к. предпочел бы изучать такие пакеты как *ANSYS* и *COMSOL* применительно к моделированию микросистем, чем «копаться в физике» солнечных батарей. Самое интересное, что итальянцы, настаивавшие на данной теме, в самом начале даже предложили исследовать батареи на основе квантовых точек, но когда увидели, какая там физика, успокоились и потеряли энтузиазм (даже предлагали тему поменять :-), но было уже поздно).

Тем не менее, работу необходимо было делать... Как оказалось, программное обеспечение для моделирования многослойных полупроводниковых структур (чем и являлась наша батарея) существует, но является крайне дорогим и отсутствует в открытом доступе. Целую неделю я переписывался с представителями компании с целью получить хотя бы демоверсию их продукта, и мои усилия увенчались успехом. Данная программа (*APSYS* от *Crosslight Software Inc*) является тем же пакетом моделирования методом конечных элементов, но только применительно к полупроводниковым устройствам (лазеры, диоды, фотодетекторы и др.), только без лишних модулей и с простым интерфейсом. Также в демоверсии были обучающие материалы и больше число примеров. В результате я провел моделирование такого числа различных явлений и эффектов, что сложно было себе представить в начале :-)

У *Crosslight Software Inc* также есть пакет *PROCOM* для моделирования технологических процессов изготовления полупроводниковых структур методом металлорганического осаждения из газовой фазы (как раз технология для изготовления наших батарей), но найти время для проведения также технологических исследований я не смог (за технологию отвечали итальянец и студентки из Индии и Китая), а демонстрационный лицензионный ключ был только для моего компьютера.

Электрическую часть выполняли итальянец и китаец. Сделали работу очень плохо, с большим числом ошибок, которые пришлось буквально перед защитой исправлять.

Вообще, в целом, сложилось такое впечатление, что китайцам хотелось поскорей «отделаться» и сдать хоть бы что. Их не особо волновало то, что у них нет результатов (в отличие от итальянцев).

Вывод:

Моя оценка: 18/20. На окончательную оценку влиял отчет, презентации в конце каждой фазы, а также личное участие во время защиты. Хотя я и был ответственен только за последнюю фазу, я выступал на каждой презентации, потому как вопросов нам задавали достаточно много. Финальный отчет я писал 2 дня и две ночи :-), потому как приходилось корректировать все, что мне прислали другие. Влияние личного участия во время защиты сыграло злую шутку с итальянцем-физиком, который сделал очень много для проекта. Т.к. он не любил выступать, он получил оценку ниже, чем другие студенты, сделавшие значительно меньше, но больше выступавшие.

Получая до этого весьма низкие оценки по предметам, где необходимо было быстро усваивать материал и следить за каждой лекцией, я был обрадован тем, что всё-таки упорство тоже вознаграждается – самая высокая оценка в группе за проект.

Также данный проект – очень хороший способ проверки, кто есть кто :-)

Интеллектуальная собственность (1 кредит ECTS)

Цель:

Изучение базовых понятий интеллектуальной собственности (ИС), а также методов ее оценки и защиты.

Программа курса:

- Базовые определения
- Ноу-хау
- Патенты
- Управление интеллектуальной собственностью:
 - стратегия ИС – основные критерии;
 - патент – оценка ИС;
 - пример – компания *STMicroelectronics*

- Организация и выполнение патентно-лицензионной политики:
 - введение;
 - лицензирование;
 - маркетинг и лицензирование патента;
 - пример – патентно-лицензионная политика “*Turbo-Code*”.

Судя по описанию, предмет должен был быть интересным, однако преподаватель плохо готовился к лекциям, и они были достаточно скучными и сухими: слайды содержали один текст. Как и в большинстве подобных случаев, преподаватель имел большой опыт работы в данной сфере (работал в таких компаниях, как *Philips*, *STMicroelectronics*), но донести материал у него не очень получилось. Правовые аспекты интеллектуальной собственности рассматривались на примере Франции.

Вывод:

Моя оценка: 12/20. На экзамене в течение часа необходимо было ответить на 10-15 вопросов. Пользоваться ничем нельзя. К экзамену почти не готовился (вечером прочитал лекции 2 раза), т.к. в тот же день после обеда был экзамен по курсу «Разработка цифровых интегральных схем».

Общее описание учебного процесса

Также как и в Италии, в конце семестра студентам выдавались анкеты с вопросами для оценки всех курсов (по 5-ти балльной шкале). Вопросы были разбиты на несколько категорий: организационные («ясна ли цель курса», «содержание курса богато и мотивирует», «распределение времени между темами удовлетворительно», «теория, примеры и практические занятия хорошо сбалансированы», «преподавание курса понятно», «лекции следуют четкой цели», «посещение курса позволяет студенту понять его основу»), вопросы по «интеллектуальному стимулированию» («посещение курса позволяет понять предмет», «предварительные знания необходимы для понимания курса», «преподаватель читает курс понятно и интересно», «основные определения курса понятны на лекции», «темы соответствуют требованиям практических занятий», «понимает ли студент важность данного курса», «лектор открыт для контактов и дополнительных консультаций»), по оценке курсов («студент знает, какой материал необходимо подготовить к экзамену», «студент знает, как будет оцениваться его ответ/работа на экзамене»), а также открытые вопросы («опишите сильные/слабые стороны курса», «прочие заметки и пожелания»).

Процесс проведения лекций почти такой же, как в Италии. Правда в Италии было меньше «доски и мела», а больше презентаций с проектором. Во Франции проводить лекции с проектором и доской одновременно было затруднительно, т.к. экран закрывал большую часть доски. В Италии доски были больше и это проблем не вызывало. Таких столов с выдвигающимся компьютером и проектором как в Италии, во Франции не было – по сути, самая обычная аудитория, где проектор приходилось ставить на стол.

Сначала показалось, что организация учебного процесса была хуже, чем в Италии, однако если учесть наличие большого числа курсов и лабораторных работ (для разных групп), то оказывается, что это не так-то просто всё организовать и совместить по времени. В отличие от Италии, график занятий был очень плотный – в среднем по 6-8 часов в день. Во вторник из-за французского языка было 10 часов. Также не было свободного дня посреди недели и экзамены начинались буквально сразу же после окончания занятий, что мне очень не понравилось: иметь по 5 экзаменов за одну неделю было не только не привычно (у нас

сессия растягивается на 2-3 недели с перерывами дня по 4 между экзаменами) и утомительно, но и достаточно сложно в плане организации подготовки к этим экзаменам.

Также как и в Италии в начале семестра всех студентов сфотографировали на веб-камеру, выдали карточки (зачеток как в Италии не было), а также информацию по учетной записи (*ID*). На данную карточку можно было внести деньги с помощью специального автомата и затем расплачиваться ей в столовой, что значительно удобнее, чем было в Италии, где карточка использовалась только для определения тарифа.



Карта студента
(с отклеившейся голограммой :-))

С помощью своей учетной записи можно было авторизоваться в беспроводной сети в пределах зданий университета. Покрытие очень хорошее и скорость очень высокая.

Как уже было указано, учебный корпус университета выглядел очень современно (был

открыт в апреле 2006 года). Тем не менее, ничего особенного внутри я не заметил: обычные аудитории, офисы преподавателей и пр., просто всё очень аккуратно. Компьютерный зал я видел только один – около 60 компьютеров и два принтера. Самым главным преимуществом была возможность бесплатной печати. Каждому студенту в месяц разрешалось печатать около 600 страниц, причем в начале следующего месяца остаток не обнулялся. Таким образом, печатали всё, что угодно и когда угодно. Доступ к компьютерам – также по *ID*.

Отдельно хотелось бы упомянуть вручение сертификата «*La Famiglia*» о присвоении мне почетного итальянского гражданства :-)) Церемония вручения проходила после самого последнего экзамена. Фотографии с вручения можно найти здесь: <http://streamphoto.ru/users/AlexiyII/213933/>



Сертификат «*La Famiglia*»

Описание общежития

Несмотря на то, что стоимость общежития была достаточно высокая (около 280 евро в месяц), оно мне очень понравилось: отдельная комната на одного человека с душем и туалетом. Кухня – общая для всех на этаже. Однако в отличие от Италии, **никаких** принадлежностей для кухни не выдавалось – все пришлось покупать самому (а также подушку). Хорошо, что огромный супермаркет был всего в 5-ти минутах ходьбы. Рядом с общежитием была прачечная, в которой было около 7 стиральных машин. Одна стирка стоила 1,9 евро. Машинами для сушки я не пользовался, а купил сушилку как в Италии (получилось выгоднее, т.к. одна сушка стоила 2 евро).

На первом этаже общежития (5-ти этажное здание) располагалась телефонная будка. Я ей пользовался только в первое время, когда не было Интернета. Отсутствие Интернета было очень серьезным недостатком данного общежития. Оно располагалось на краю студенческого города и беспроводное покрытие туда не «дотягивалось». Тем не менее, купив специальную антенну для усиления сигнала мне удалось «поймать» Интернет сначала на кухне, а потом провести его в комнату :-). После чего я стал звонить через программу *Skype*, что значительно дешевле телефонных карт.

Располагалось общежитие в другом конце города и приходилось ездить на трамвае (20-25 минут). Стоимость проездного на месяц для студентов очень небольшая – 23,5 евро.

Фотографии из общежития, фотоотчет о подключении интернета, а также множество других фотографий, связанных (и не очень) с учебой можно найти здесь: <http://www.streamphoto.ru/users/AlexiyII>

Путешествия по Франции

Так уж получилось, что никуда во Франции я так и не съездил: ни городов не посмотрел (Лион, Париж и многие другие), ни в Альпы не сходил (просто бесчисленное множество горнолыжных баз, причем очень дешевых для студентов). Связано это в первую очередь с учебой. Из-за высокой нагрузки в выходные дни хотелось не активного отдыха (лыжи, походы и т.п.), а просто ничего не делать.

Немного удалось погулять по Греноблю – очень маленький (около 156 тыс. человек по данным 2005 года) городок, окруженный со всех сторон горами.

Фотографии можно найти по вышеприведенной ссылке.

СПИСОК КУРСОВ ЗА 1-Й ГОД

Ниже приведен полный список курсов за 1-й год.

Семестр	Название курса	Число кредитов ECTS
1-й (<i>Politecnico di Torino</i> , Италия)	Введение в телекоммуникации	2
	Вычислительная техника	2
	Полупроводниковые устройства	4
	Предпринимательство	3
	САПР и конструирование микросистем	5
	Физика твердого тела	3
	Физика технологических процессов и микросистемы	5
	Французский язык	2
	Характеризация технологических процессов	4
	Всего за 1-й семестр:	30
2-й (<i>INPG</i> , Франция)	Английский язык	
	Биоэлектроника: биосенсоры и биочипы	2
	Интеллектуальная собственность	1
	Лабораторные работы по микро и наносистемам	3
	Литография следующего поколения	1,5
	Магнитные микросистемы	1
	Микроскопия следующего поколения	2
	Молекулярная биология	2
	Наноструктуры для оптического и магнитного применения	2
	Наноструктуры: физика и транспорт	2
	Основы микросистем	2
	От микро к наноэлектронике	
	Проект по микро и нанотехнологиям	2
	Разработка аналоговых интегральных схем	2
	Разработка цифровых интегральных схем	2
	САПР микросистем	1
	Физика микрофлюидных систем	1
	Французский язык	2
	Всего за 2-й семестр:	32