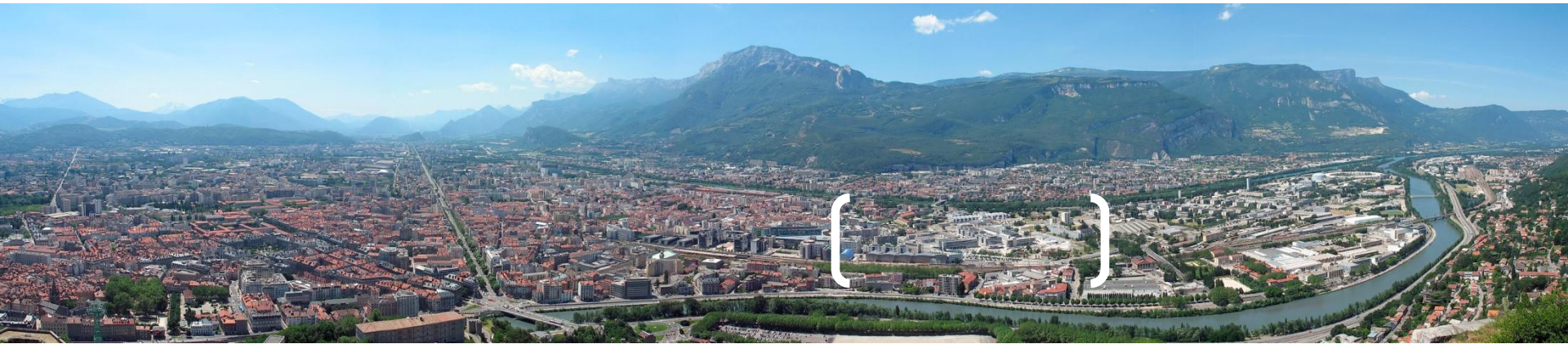


Отчёт по конструкторско-технологической практике

Якимец Д.В., гр.ИУ4-71

Minatec. Где это?

Минатек расположен в Гренобле, Франция.
Он занимает площадь в 45 гектар:



Для справки: в Гренобле около 480000
жителей и 11% из них студенты

Minatec. Что это?

Минатек – международный инновационный кампус микро- и нанотехнологий.

Работы ведутся в трёх основных направлениях:

- Исследования
 - > 1900 человек
- Образование
 - > 1450 студентов
 - > 200 PhD
- Производство
 - > 200 контрактов
 - > Более 200 патентов в год
 - > Более 1300 публикаций в год

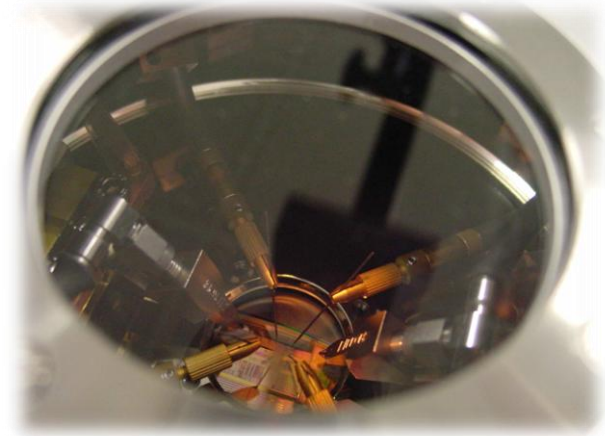


На всё это
заложен
годовой
бюджет в **320**
млн. евро

Minatec. Направления исследований

В Минатеке имеется несколько подразделений. Сфера их деятельности лежит в следующих направлениях:

- Материаловедение
- Технологии микроэлектроники
- Электромагнетизм, фотоника
- Передача информации
- Спинтроника



Криогенная зондовая станция

Наша практика проходила в «Институте микроэлектроники, магнетизма и фотоники».

ИМЕР-ЛАНС. Подробнее

Более конкретные примеры исследований:

- Кремний, кремний на изоляторе, прочие материалы и технологии для устройств наномасштаба (MEMS/NEMS)
- Волноводы, и прочие оптоэлектронные устройства
- Квантовые устройства
- Защита от шумов



ИМЕР-ЛАНС. Измерения

Для электрических параметров:

I-V, C-V, измерения под механическим воздействием, под сильным внешним магнитным полем, при самых разных температурах в различных средах...

Для световых:

Лазеры, камеры, осцилляторы, разные наборы оптики, спектрометры...

Для контроля поверхности:

Оптические микроскопы, АСМ, СТМ, СЭМ, профилометр, эллипсометры...



ИМЕР-ЛАНС. Получение

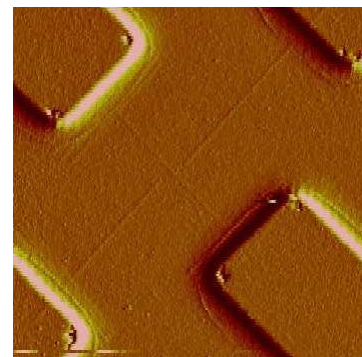
Электронная литография

Контактная УФ литография

Устройство для ионной имплантации

Химические лабораторные столы

Спиннеры



Всё это находится в чистой комнате класса 100, которая занимает почти 1000 м². Причём локально класс чистоты повышается до 10.

Наш проект. Введение

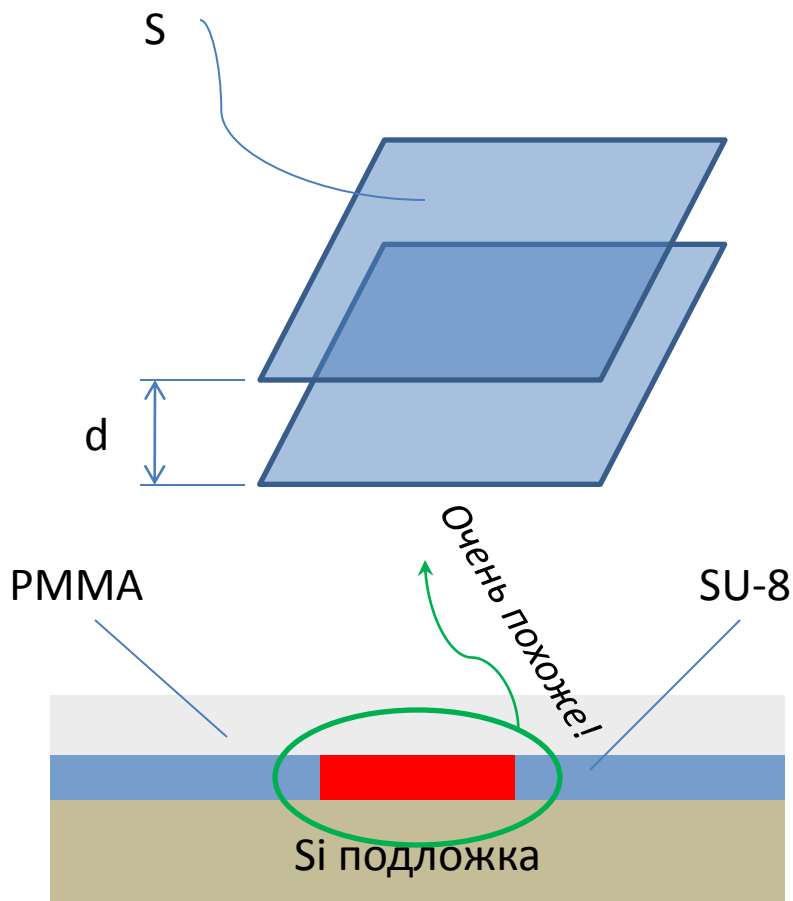
В своё время Алексей Денисов разрабатывал микропомпу для прокачки жидкости в узком канале. Этот проект до сих пор жив и активно развивается.

Задача: понять, имеется ли жидкость внутри канала сечением примерно $100 \times 100 \mu\text{м}$, точно измерить скорость её движения.



Датчик жидкости. Начало

Ёмкостный метод



Для обычного плоского конденсатора:
$$C = \frac{\varepsilon \varepsilon_0 S}{d}$$
$$\varepsilon_0 = 8.85 \cdot 10^{-12} \text{ Ф/м}$$

Диэлектрические свойства для разных жидкостей:

Тип жидкости	Диэлектрическая проницаемость ε
Вода	80
Этанол	24.3
Кровь	58*

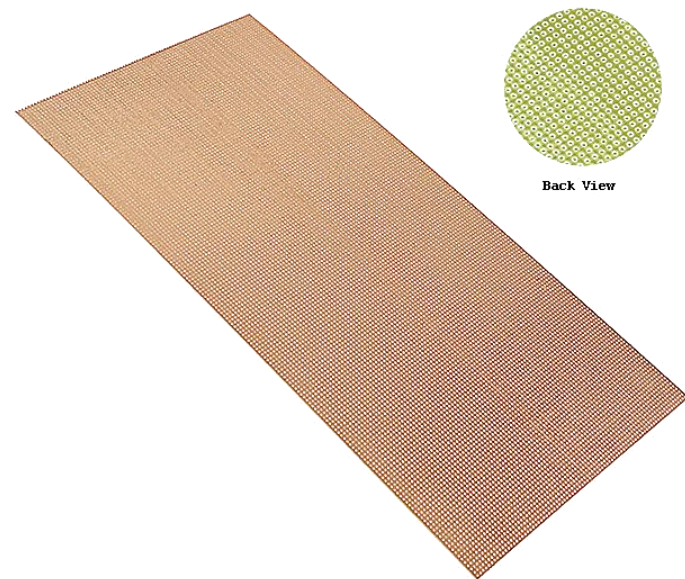
* : точные значения зависят от состава

Датчик жидкости.

От расчётов к прибору

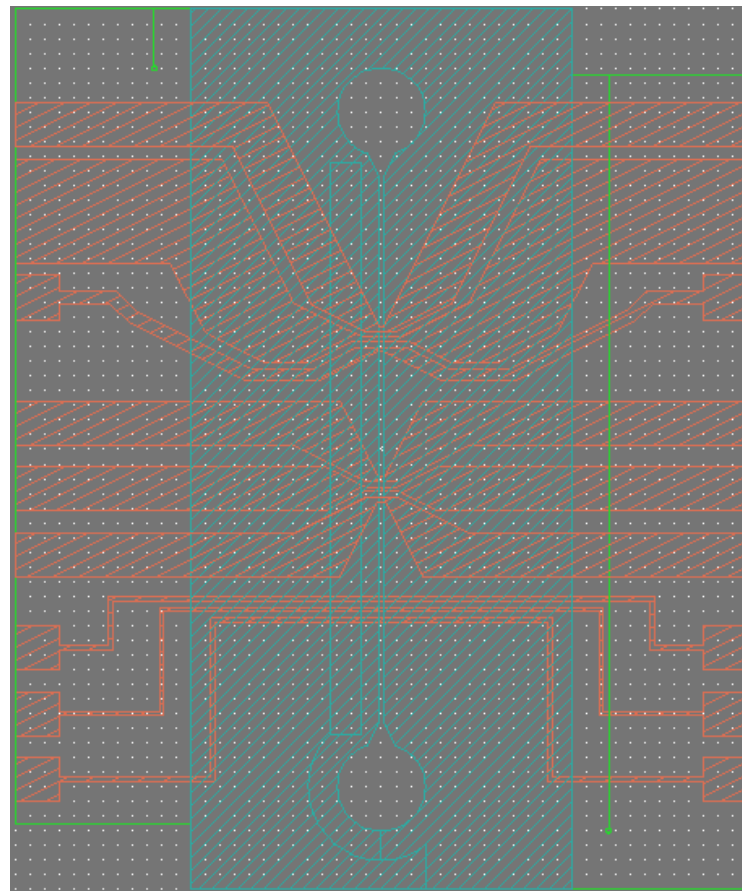
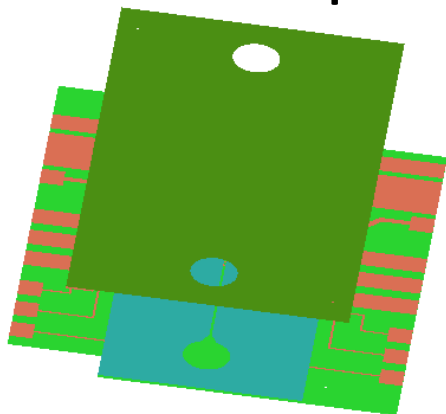
Считая, что мы можем зарегистрировать разницу ёмкости в 0.5пФ, и зная примерное геометрию канала, можно рассчитать требуемые размеры обкладок.

Для тестов было принято решение изготовить печатную плату с тонким слоем меди. Существуют разные марки FR4. Нас же интересовали лишь те, что имеют толщину слоя меди 16мкм или 35мкм.



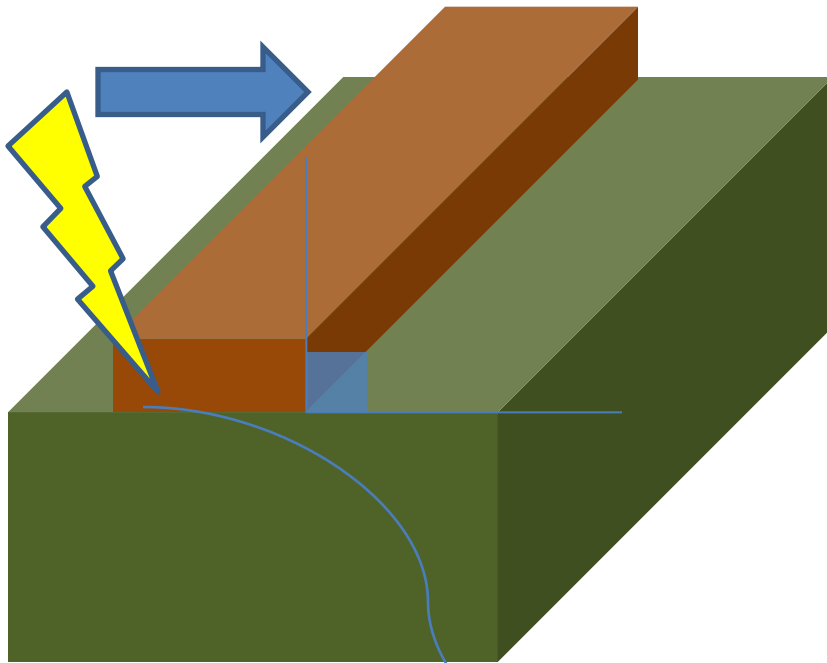
Датчик жидкости. Проектирование

Разводка платы выполнялась в программе Layout Editor, т.к. она совместима как с оборудованием для производства печатных плат, так и с оборудованием для изготовления в кремнии.



Производство. Механообработка

С учётом возможностей Минатека, стало понятно, что фрезерованием сделать плату будет точнее, чем химическим методом. Но появились определённые проблемы.



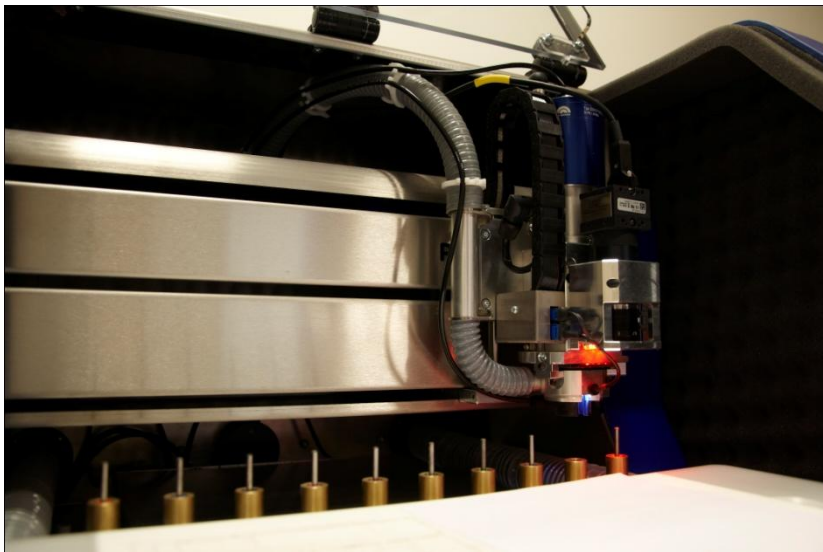
Они связаны с большой скоростью потока: 0.5 л/мин. Вполне возможно, что сцепных свойств клея между текстолитом и медью просто не хватит.

Средняя скорость жидкости внутри трубки около 0.5 м/сек.

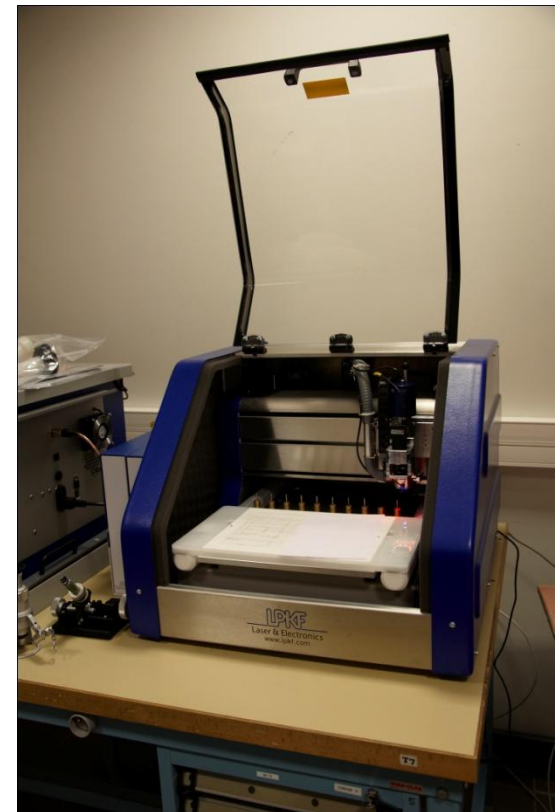
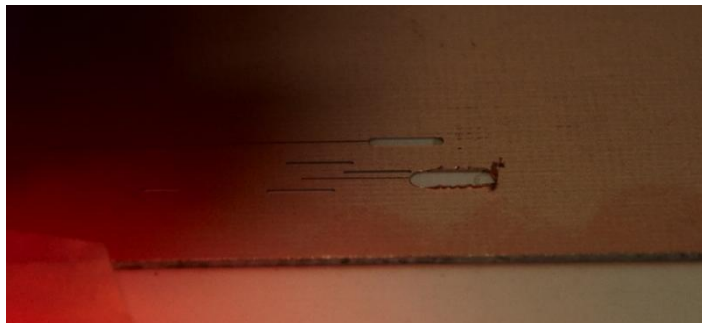
Отрыв!

Производство. Проблемы

В первый день механообработка не прошла: свёрла хрупкие, автомат совсем новый, опыта его использования мало...

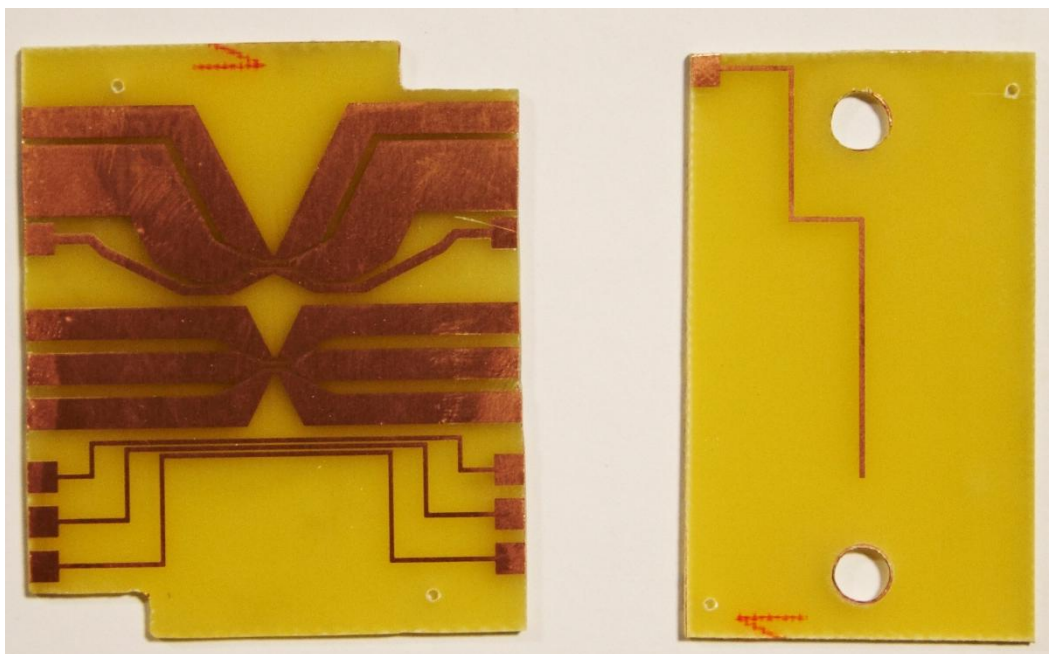


Калибровка:

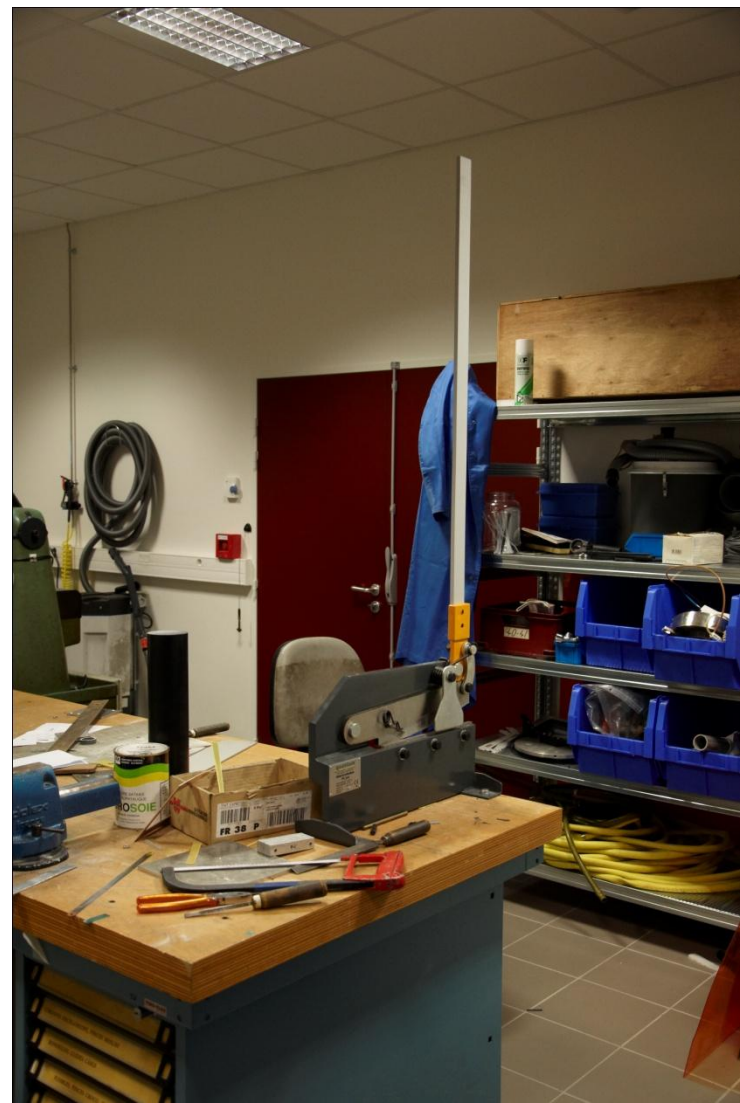


Производство. Химия!

В результате, для начала,
сделали плату химическим методом:



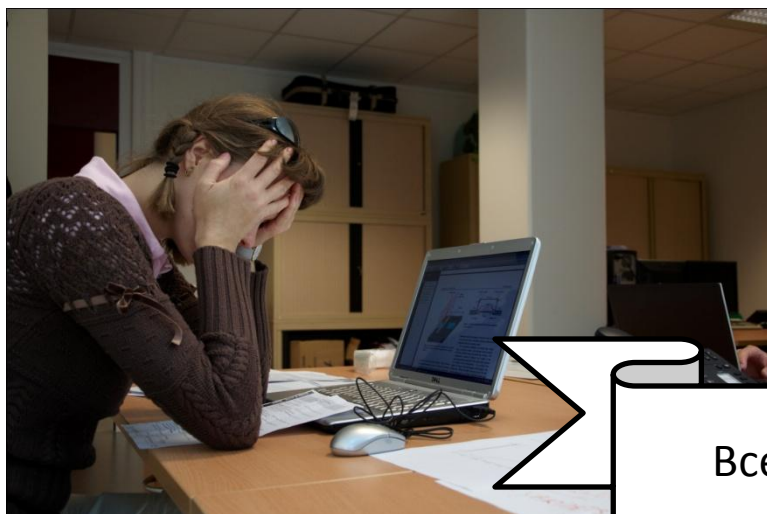
Гильотинные ножницы:



Датчик потока. Введение

Электроды сгруппированы в три группы по трое. Это сделано специально для возможности измерения скорости движения жидкости.

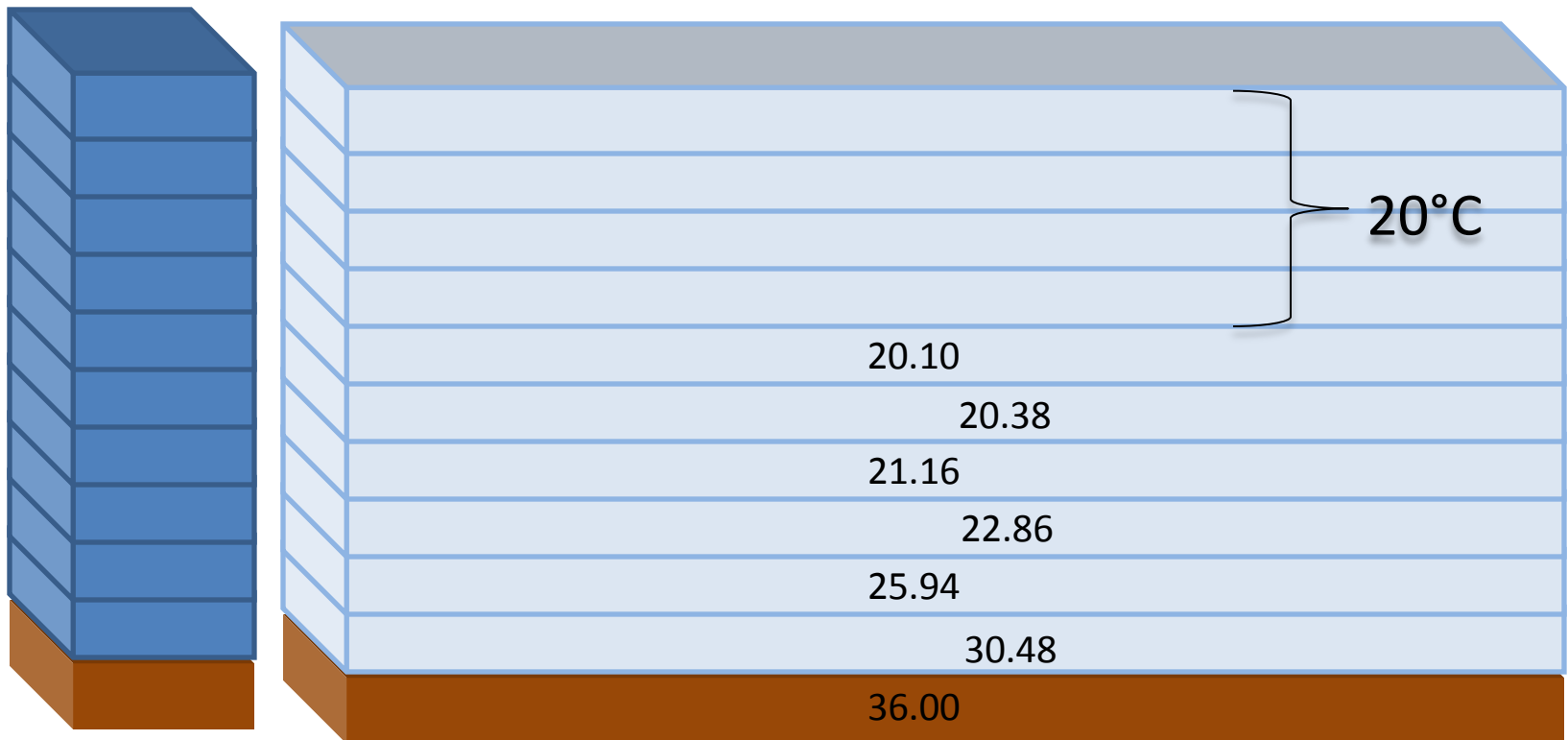
Медные проводники выполняют роль терморезисторов. Для прецизионного измерения используется калориметрический метод. Нагреваем средний резистор и измеряем разницу в сопротивлении между крайними.



Все думают...

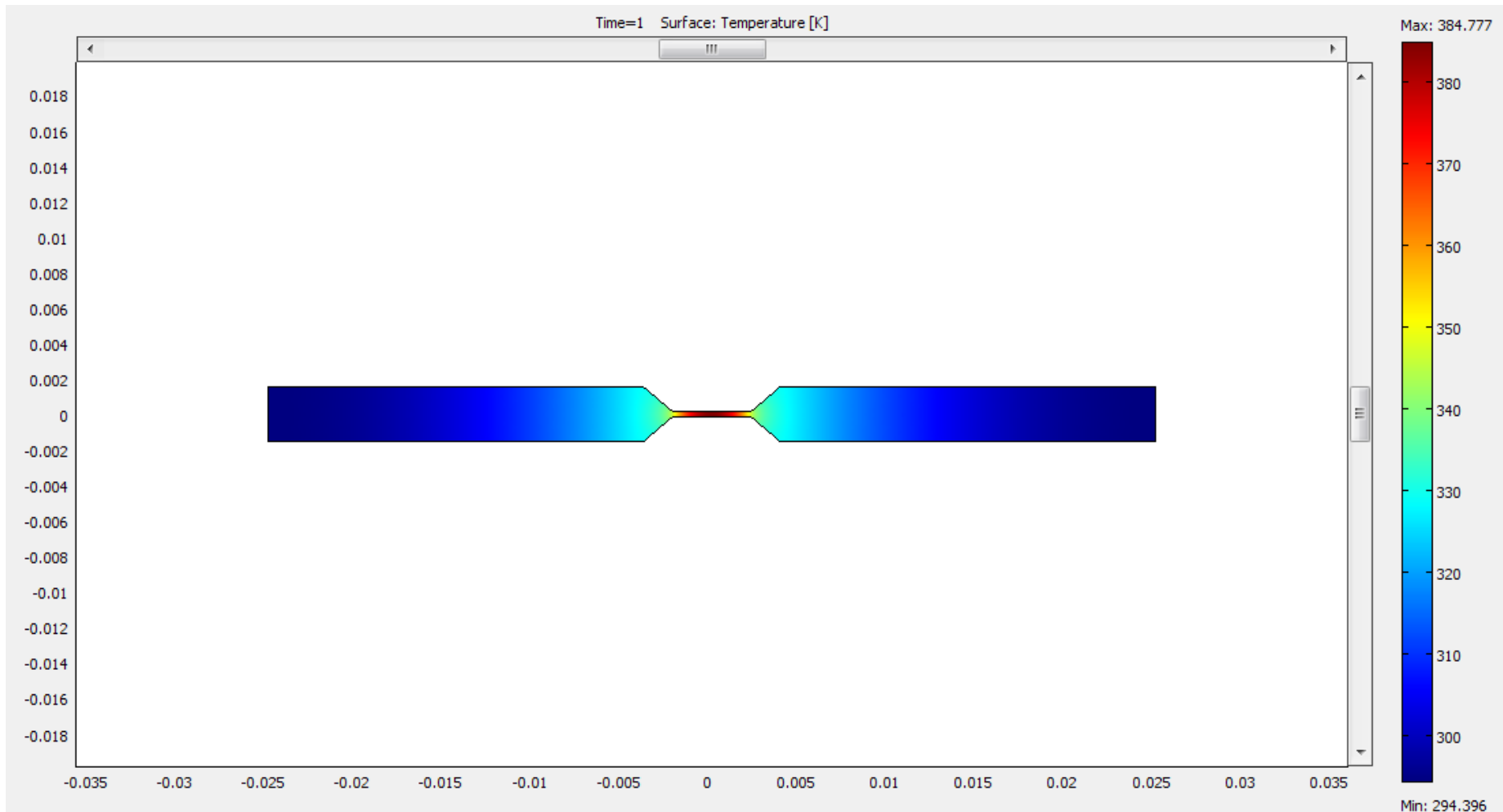
Датчик потока. Расчёты

Чтобы в первом приближении понять, каких ждать результатов, на Delphi 7 была написана программа, считающая распределение тепла в столбе жидкости:



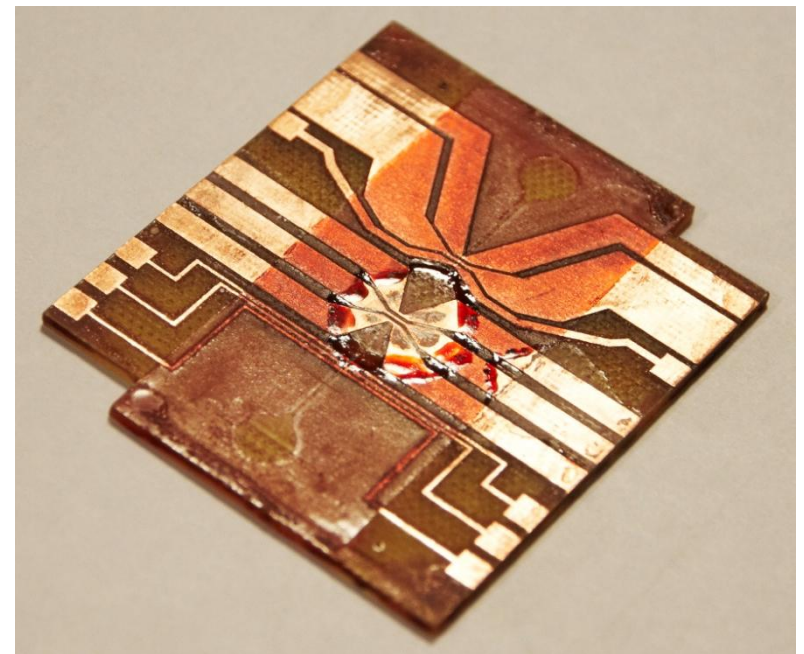
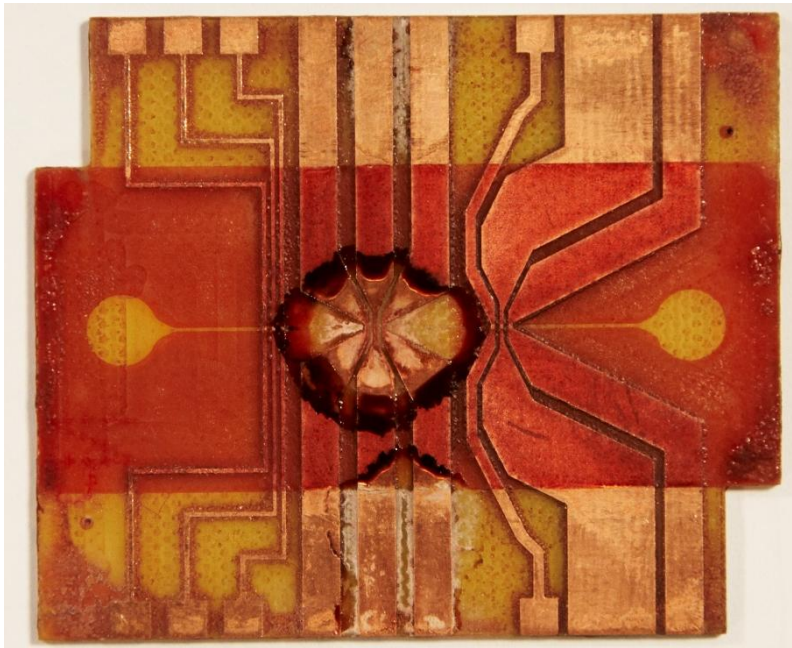
Датчик потока. Моделирование

В Comsol Multiphysics было промоделировано распределение тепла в медном проводнике:



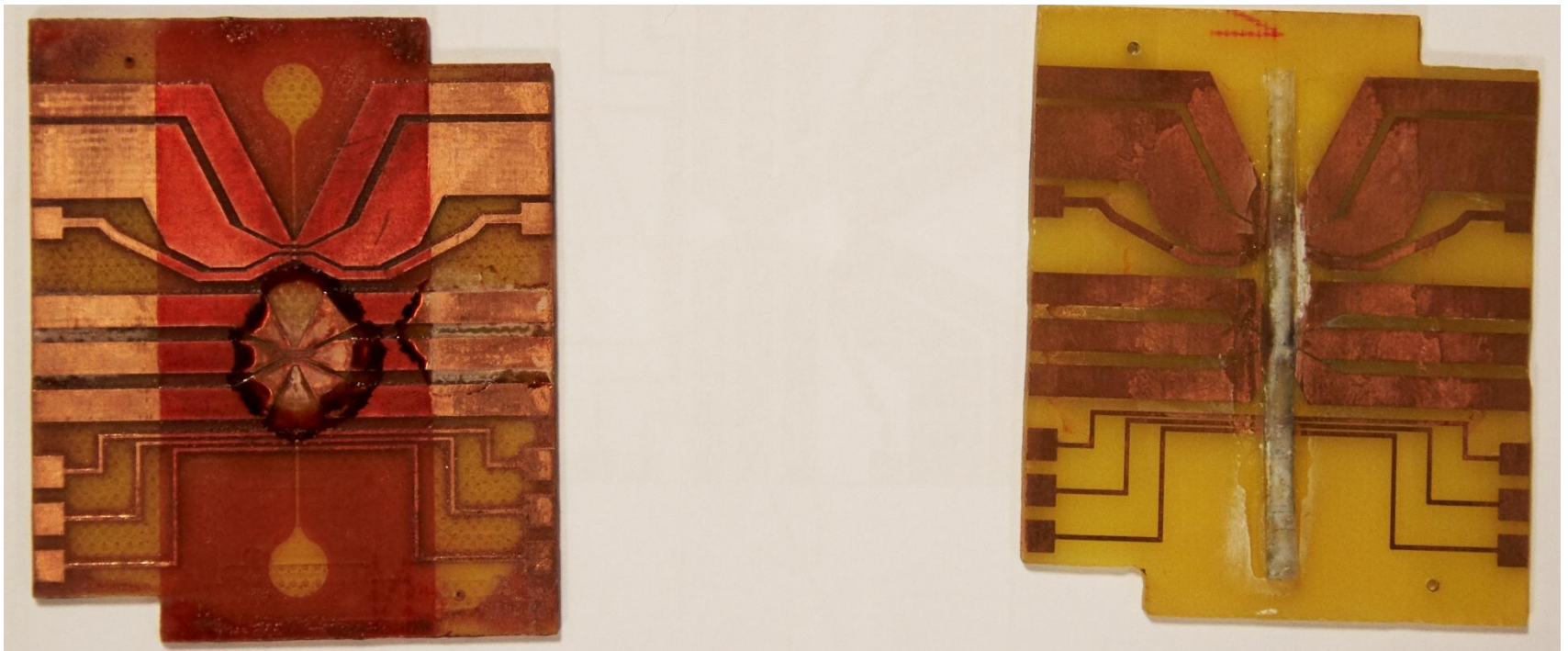
Датчики. Проблема

Проблема заключается собственно в создании канала (его высота всего 50мкм!). В конечных версиях устройств будет использоваться фоторезист SU-8, но для тестов он довольно дорог, поэтому использовался resin.



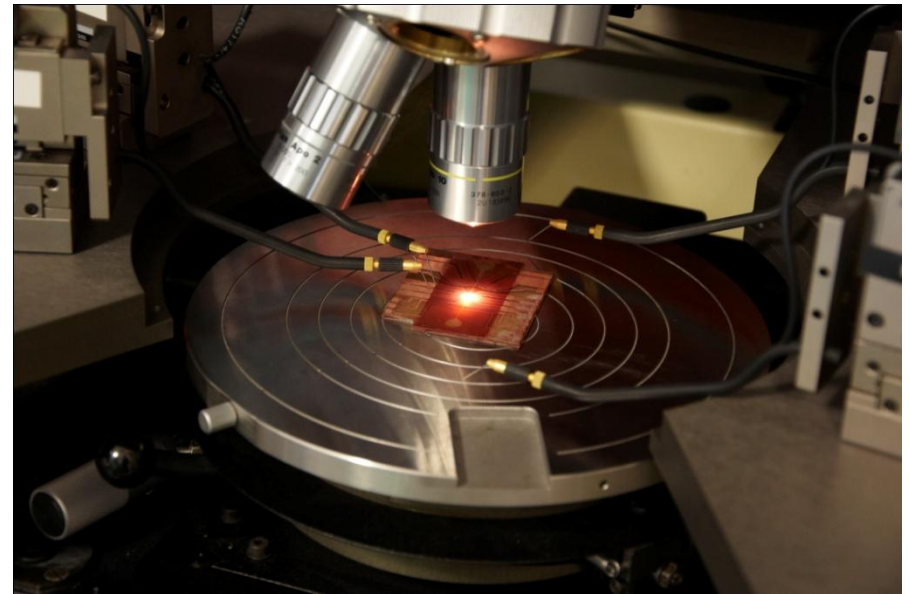
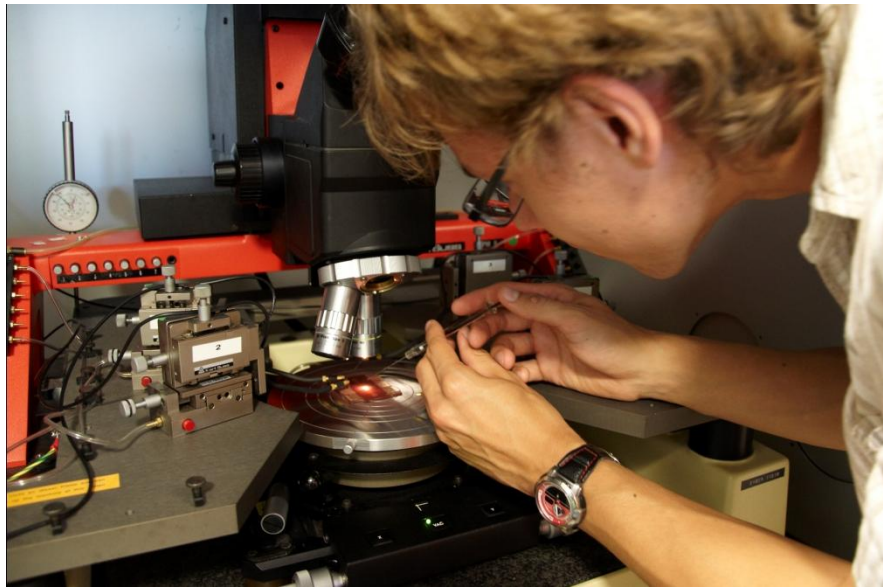
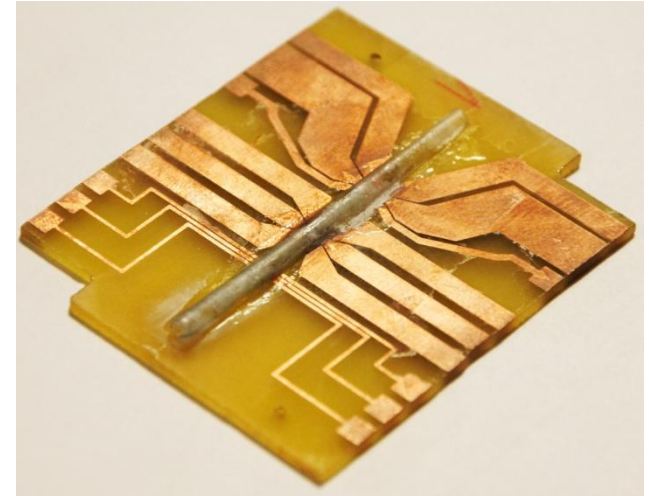
Канал. Трудности

Красное покрытие – это и есть resin. Хорошо виден канал шириной 300мкм. К сожалению этанол оказался растворителем для этого резиста. Отсюда «кратеры» в центре. Поэтому решили сделать канал из пластика. Просто для теста.



Клей. Затруднение

У канала не было сформировано ровного основания, поэтому клей затёк внутрь и перекрыл контакт жидкость-медь. Поэтому скорость жидкости замерить не удалось. Зато датчик жидкости работает отлично.



Чистая комната. Всё белое

Операция по нанесению фоторезиста и его экспонирование производилась в чистой комнате. Вход туда организован через специальный шлюз, где все одеваются в спецформу:



Люди

А ещё в Минатеке оказались
удивительно приятные в общении
люди

