

**Одиннадцатая международная молодежная конференция
«Наукоемкие технологии и интеллектуальные системы»**

Кафедра ИУ4 МГТУ им. Н.Э. Баумана
«Проектирование и технология производства электронно-вычислительных
средств»

**МНОГОМАСШТАБНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ
КАНТИЛЕВЕРОВ**

Автор

Тимофеев Геннадий Геннадьевич
студент кафедры ИУ4 МГТУ им. Н.Э. Баумана

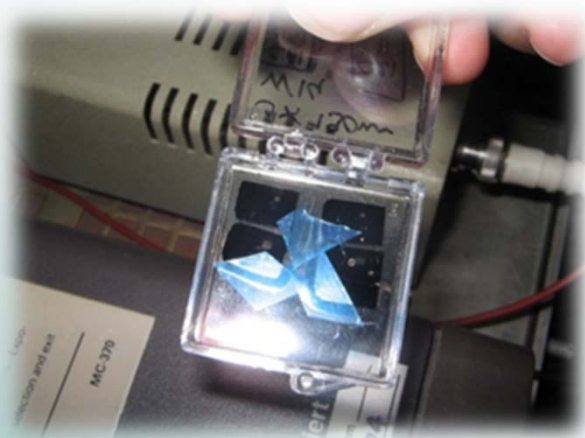
Научный руководитель

Власов Андрей Игоревич
к.т.н., доцент, зам. зав. кафедрой ИУ4 по
научной работе МГТУ им. Н.Э.Баумана

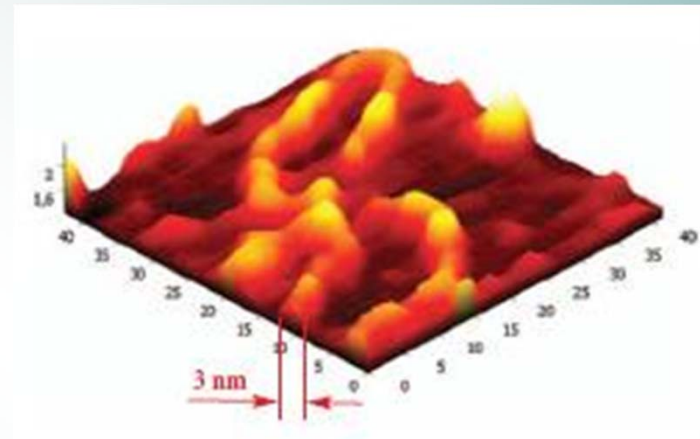
Москва 2009

Цель. Решаемые задачи.

Цель работы - реализация многомасштабной математической модели биолого-химического взаимодействия между поверхностью чувствительного элемента - кантилевера и раствором исследуемого биологического объекта, а также модель частотных характеристик кантилевера.



Кантилеверы



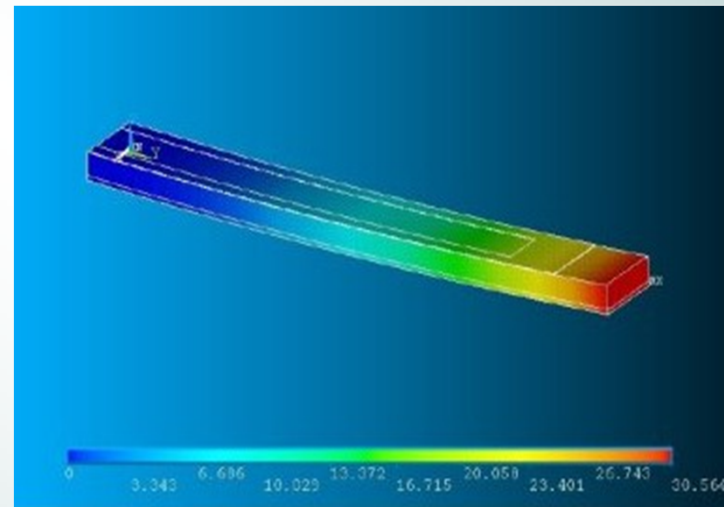
СЗМ изображение ДНК

Решаемые задачи:

1. Анализ и выделение необходимых аналитических формул, описывающих поведение кантилевера
2. Разработка по полученным данным моделей отклонения и резонанса
3. Анализ данных моделей для перехода к сеточным моделям, позволяющим получить большую точность
4. Построение сеточных моделей, используя МКЭ

Актуальность

Актуальность поставленной задачи заключается в необходимости разработки математической модели, позволяющей рассматривать взаимодействия не только между веществами, но и между отдельными молекулами, что позволяет проводить моделирование таких физических процессов, как взвешивание микроскопических объектов, позволяет ускорить время проведения анализа, повысить точность и надёжность.

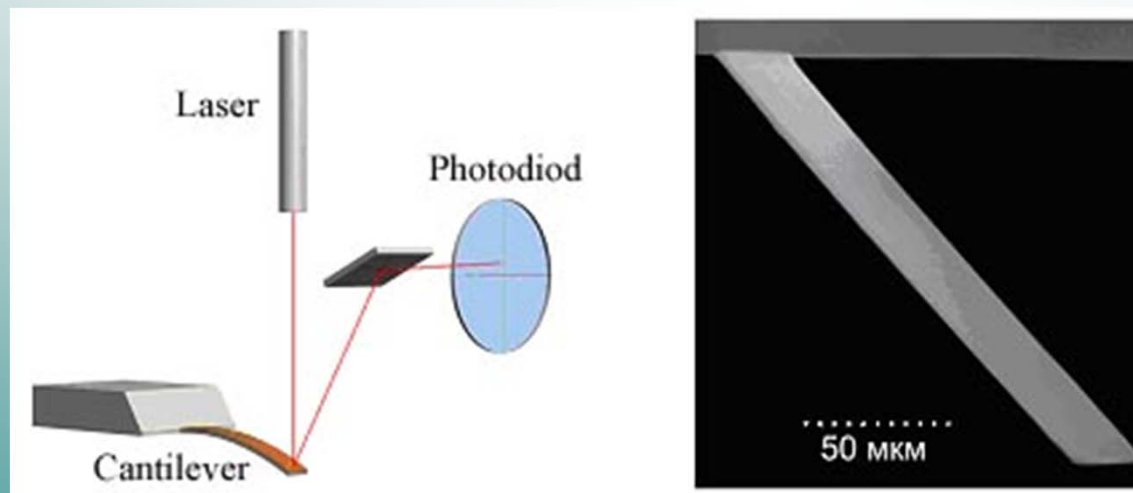


Анализ отклонений кантилевера

Под действием вертикальной отклоняющей силы возникает изгиб z-типа. Вертикальная сила приводит к отклонению острия в вертикальном и продольном направлениях и появлению угла отклонения. В вертикальном направлении кроме силы реакции со стороны образца на кантилевер действует сила собственной тяжести. Она приводит к прогибу свободного конца балки на фиксированную величину, незначительную по сравнению с минимальным регистрируемым отклонением.

$$\Delta z = \frac{3 \cdot (1 - \nu) \cdot L^2}{E \cdot t^2} \sigma$$

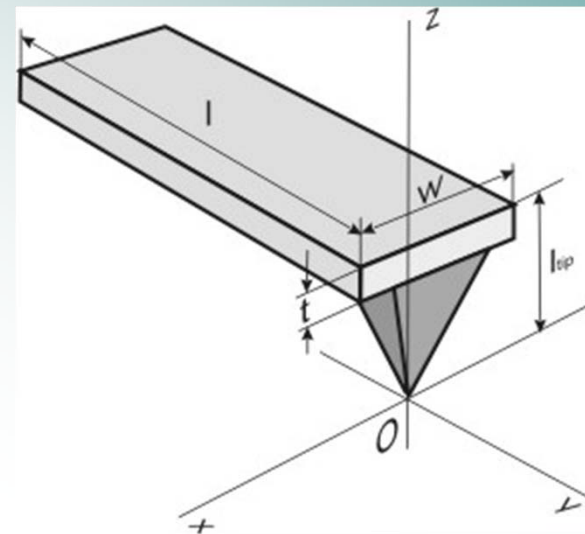
закон Стоуни [G.G. Stoney // Proc. R. Soc., Lond. Ser. A 82 (1909)]



Исследования характеристик кантилевера

Основные характеристики кантилевера

- Длина
- Ширина
- Длина иглы
- Толщина пластины
- Модуль упругости материала

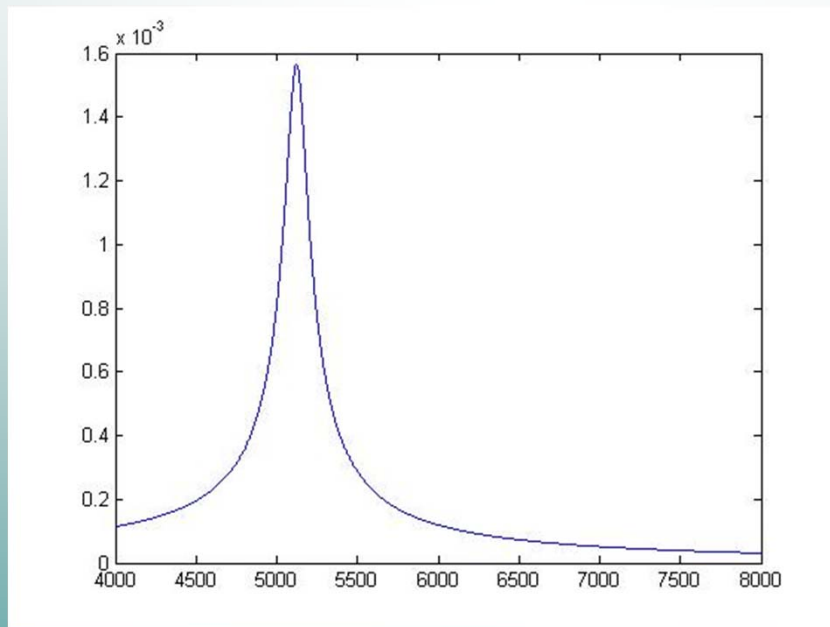


Прямоугольный кантилевер с зондом

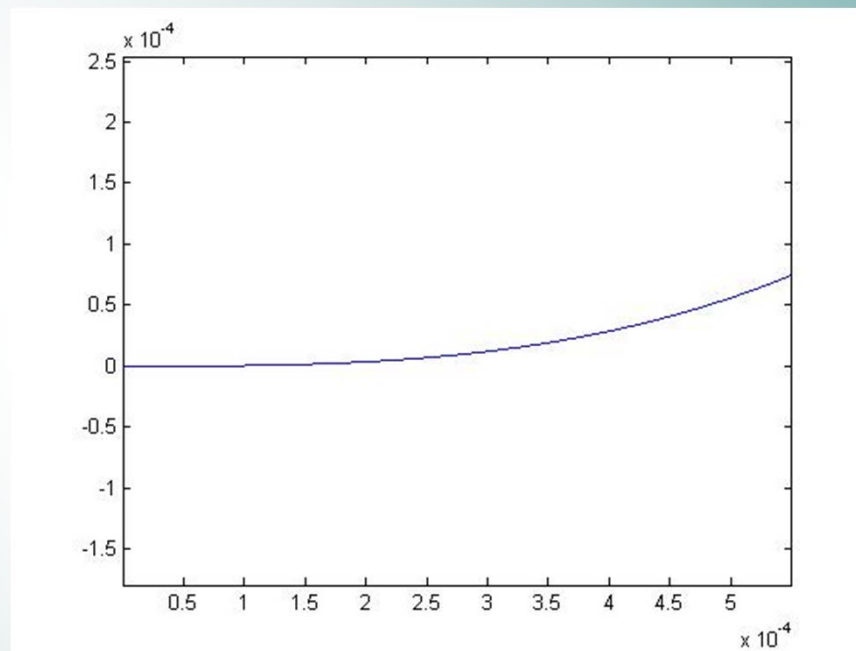
Кантилевер – консоль, кронштейн - одна из основных составляющих частей сканирующего зондового микроскопа. С одной стороны – это крошечная балка толщиной от 0,1 до 5 мкм и шириной от 10 до 40 мкм, с другой – полоска длиной от 100 до 200 мкм, которая является зондом для поверхности образца. На конце полоски – игла с острием, радиус закругления которого порядка нанометра. Производство кнтилеверов основано на двух материалах – кремнии и нитриде кремния, острия (толщина острия в несколько нм) – также из кремния, нитрида кремния или алмаза.

Модель резонанса кантилевера и его отклонения

Для наглядного представления поведения амплитуды при резонансе была разработана модель резонанса кантилевера и модель отклонения кантилевера в пакете Matlab 7.



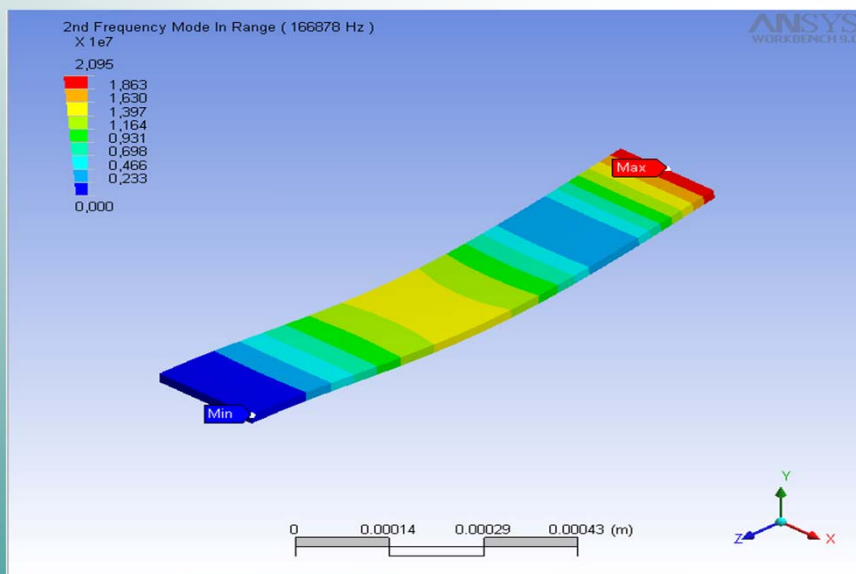
Модель резонанса кантилевера, основывается на зависимости амплитуды от резонансной частоты



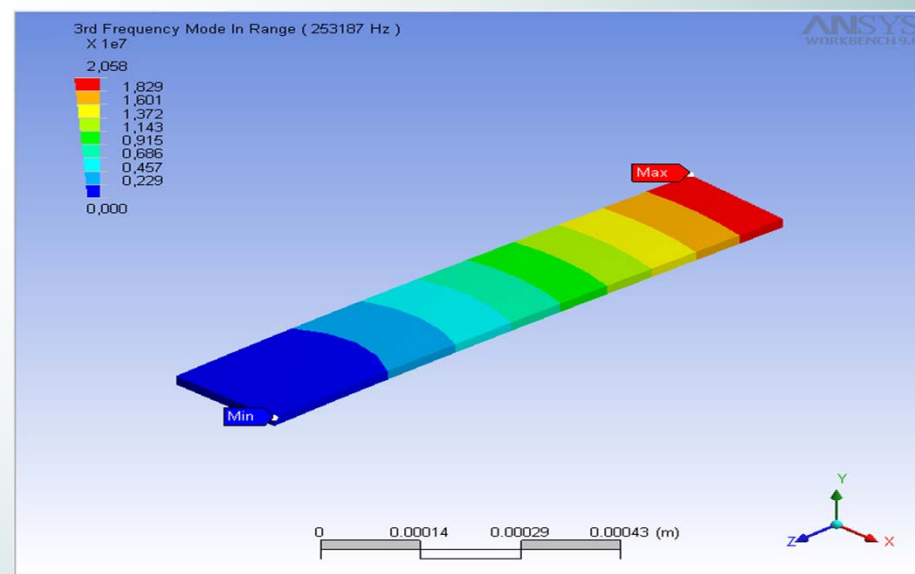
Модель отклонения кантилевера, основывается на законе Стоуни

Моделирование частотных характеристик кантилеверов

Для определения оптимальной геометрии кантилевера было проведено моделирование различных геометрий в пакете Ansys. При этом изменялись ширина и высота, а толщина оставалась неизменной, что связано с технологическими ограничениями при изготовлении кантилеверов. При этом моделью кантилевера является прямоугольная балка с заданными размерами и закреплением в одном из торцов, с прикладываемым в середине пластины ускорением. При проведении моделирования вся балка разбивалась на элементарные элементы – параллелепипеды, для реализации метода конечных элементов



Вторая резонансовая частота



Третья резонансовая частота

Выводы

- В ходе работы были изучены основные характеристики кантилеверов зависимости друг от друга которых были проверены математически. Были выделены основные аналитические формулы, которые описывают амплитуду и вертикальное отклонение консоли, а именно закон Стоуни и зависимость амплитуды от резонансовой частоты кантилевера. При переходе к сеточным моделями пришли к выводу, что без дополнительного рассмотрения макрообъектов создать качественную модель практически невозможно.
- Результаты данного исследования могут быть использованы при построении различных интеллектуальных комплексов моделирования, так как невыгодно постоянно задавать алгоритм поведения кантилевера, чтобы смоделировать какую-нибудь их его характеристик.