Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Новосибирский государственный технический университет»
Кафедра полупроводниковых приборов и микроэлектроники

Паспорт
расчетно-графического задания (работы)

по дисциплине «Микроэлектромеханика», 8 семестр

1. Методика оценки

Выполнение расчетно-графического задания (работы) (далее - РГЗ(Р)) является формой текущей аттестации (контроля) по дисциплине, предусмотренной учебным планом.

Цель РГЗ(Р): студенты должны освоить и научиться расчитывать динамические характеристики элементов МЭМС и эффекты демпфирования в МЭМС

Обязательным элементом РГЗ(Р) являются решение задач, при решении которых студенты должны провести анализ объекта, выбрать и обосновать способы расчета, убедиться в правильности расчета путем сравнения с литературными данными.

Номер задания соответствует последней цифре в номере зачетной книжки (студенческого билета).

РГЗ(Р) выполняется индивидуально

Количество заданий достаточно для обеспечения, каждого обучающегося индивидуальным заданием РГЗ(Р).

Замена задания РГЗ(Р) осуществляется по согласованию с преподавателем из числа резервных (не занятых) заданий.

Перед выполнением задания студент должен ознакомиться с материалами лекций.

Преподаватель осуществляет руководство по выполнению задания, оказывает консультационную помощь и принимает отчет по РГЗ(Р).

По результатам выполнения РГЗ(Р) выполняется отчет, который состоит из следующих частей:

1. Титульный лист
2. Введение
3. Основная часть
4. Выводы и заключение
5. Список литературы

Требования к оформлению:

Объем РГЗ(З) до 10 страниц машинописного текста формата А4. Шрифт Times New Roman, 12. Формулы набираются в редакторе Math Type. Размещение сканированных формул не допускается. Нумерация страниц сквозная, в нижней части листа по центру арабскими цифрами. Работа должна быть отредактирована, не содержать орфографических, синтаксических и стилевых ошибок.

Отчет в установленные сроки сдается на кафедру для проверки. Преподаватель оценивает качество работы, отмечает положительные стороны и недостатки работы и определяет, допускается ли она к защите. При необходимости преподаватель возвращает РГЗ(Р) студенту для доработки и устанавливает сроки повторного предоставления для проверки. До защиты работы студентом должны быть сделаны необходимые исправления и дополнения по всем замечаниям преподавателя.

При положительном результате оценивания РГЗ(Р) студент её распечатывает, передает на кафедру и защищает до сессии в назначенное преподавателем время.

Защита РГЗ(Р) состоит в индивидуальном устном собеседовании студента с преподавателем. В процессе защиты выявляется уровень знаний студента, степень его самостоятельности при выполнении работы. По результатам защиты студенту выставляется оценка в соответствии с критериями, приведенными в п. 2 настоящего Паспорта.

2. Критерии оценки результатов обучения, соотнесенных с уровнями освоения индикаторов достижения компетенций

РГЗ(Р) считается выполненной **на продвинутом** уровне, если все необходимые расчеты произведены самостоятельно и без ошибок; все разделы РГЗ(Р) выполнены правильно и в полном объеме; работа оформлена в соответствии с требованиями; сдана преподавателю в указанные сроки и не возвращалась для доработки; даны полные и развернутые выводы и рекомендации; на защите студентом даны уверенные и аргументированные ответы, что свидетельствует об уровне сформированности компетенций и соотнесенных с ними индикаторов на продвинутом уровне. Оценка составляет *от 17 до 20 баллов.*

РГЗ(Р) считается выполненной **на базовом** уровне, если все необходимые расчеты произведены самостоятельно и без существенных ошибок; все разделы РГЗ(Р) выполнены правильно, но есть замечания к полноте предоставления информации; работа оформлена в соответствии с требованиями; сдана преподавателю в указанные сроки и однократно возвращалась студенту для незначительной доработки; в заключении даны выводы и рекомендации; на защите студентом допущены непринципиальные ошибки, что свидетельствует об уровне сформированности компетенций и соотнесенных с ними индикаторов на базовом уровне. Оценка составляет *от 13 до 16 баллов.*

РГЗ(Р) считается выполненной **на пороговом** уровне, если все необходимые расчеты произведены самостоятельно, но с ошибками, часть из которых носит принципиальный характер; есть замечания к полноте предоставления информации; работа оформлена в соответствии с требованиями; сдана преподавателю, но неоднократно возвращалась студенту для доработки; в заключении даны краткие выводы; защита РГЗ(Р) вызывает у студента серьезные затруднения, что свидетельствует об уровне сформированности компетенций и соотнесенных с ними индикаторов на пороговом уровне. Оценка составляет *от 10 до 12 баллов.*

РГЗ(Р) считается **не выполненной**, если расчеты произведены с серьезными ошибками; есть замечания к полноте предоставления информации и оформлению; РГЗ(Р) была сдана преподавателю, но неоднократно возвращалась студенту для доработки, что не привело к улучшению ее качества; РГЗ(Р) не допущена до защиты, что свидетельствует об не сформированности компетенций и соотнесенных с ними индикаторов. Оценка составляет *менее 10 баллов*.

3. Шкала оценки

В общей оценке по дисциплине баллы за РГЗ(Р) учитываются в соответствии с правилами балльно-рейтинговой системы, приведенными в рабочей программе дисциплины.

РГЗ(Р) как форма текущей аттестации (контроля) по дисциплине считается успешно выполненной, если сумма полученных баллов по всем его заданиям составляет от 10 до 20 баллов включительно.

4. Примерный перечень тем РГЗ(Р)

Расчётно-графическое задание №1.

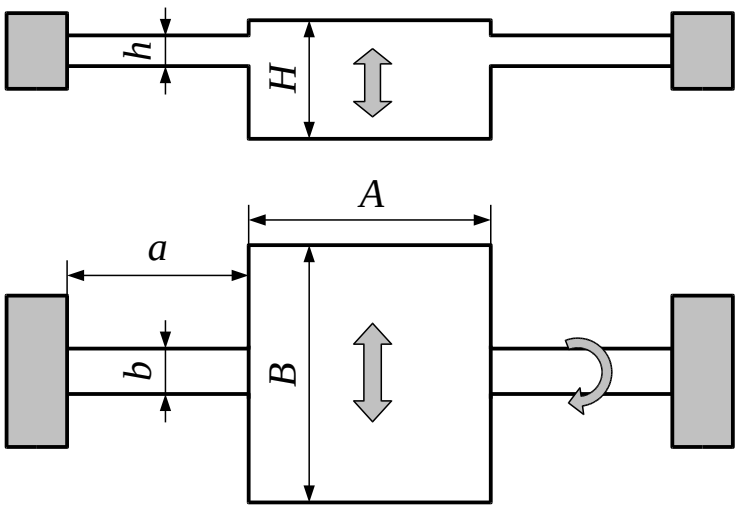
Динамические характеристики элементов МЭМС

Для изображённой ниже кремниевой микроструктуры пренебрегая массой упругих элементов и деформацией центральной части найти:

1. Частоту собственных колебаний микроструктуры, когда колебания происходят а) по нормали к плоскости устройства (нормальные колебания), б) в плоскости устройства (латеральные колебания), в) вокруг оси упругих элементов (угловые колебания).
2. Частоту затухающих колебаний при заданном коэффициенте затухания *c*.

3. Амплитуду вынужденных нормальных колебаний при нулевой и резонансной частотах, если на систему действует внешняя сила $F = F_{max} \sin(\omega t)$.

4. Добротность системы, если при резонансе колебательная система имеет фазовый сдвиг φ. (задача решается независимо от предыдущих).



Исходные данные для расчёта:

№	Студент	*a*, мкм	*b*, мкм	*h*, мкм	*A*, мм	*B*, мм	*H*, мкм	*c*, кг/с	F_{max}, мН	φ, °
1	Иванов И.И.	300	42	12	3.2	4	220	0.040	0.06	89.90

Постоянные величины для кремния:

– модуль Юнга E_{Si} = 170 ГПа;

– модуль сдвига G_{Si} = 65 ГПа;

– плотность ρ_{Si} = 2.33 г/см^3.

Расчётно-графическое задание №2.
Эффекты демпфирования в МЭМС

Для изображённой ниже кремниевой микроструктуры пренебрегая массой упругих элементов и деформацией центральной части найти:

1. Коэффициент сдавливания и коэффициент демпфирования при движении по нормали к плоскости устройства (нормальные колебания).
2. Резонансную частоту нормальных колебаний.

3. Добротность колебательной системы для нормальных колебаний.

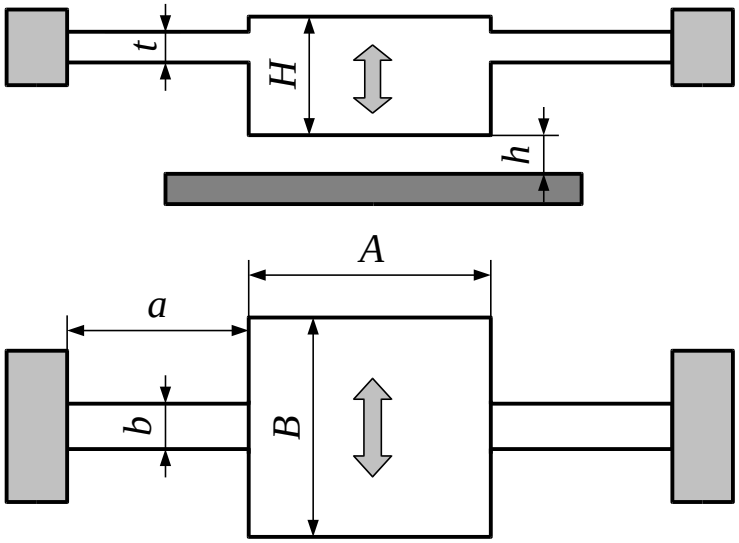
4. Каким образом нужно изменить давление окружающей среды, чтобы увеличить добротность колебательной системы для нормальных колебаний в 200 раз? (Использовать модель Кристиана).

5. Каким образом нужно перфорировать пластину, чтобы увеличить добротность нормальных колебаний в 25 раз? Т.е. найти количество отверстий и их диаметр, необходимо, чтобы отверстия были распределены по пластине равномерно, в расчётах не учитывать сопротивление воздуха, проходящего через отверстия.

6. Добротность колебательной системы для латеральных колебаний.

7. Резонансную частоту латеральных колебаний.

8. Как изменится добротность колебательной системы для латеральных колебаний, если зазор между пластиной и подложкой уменьшить в 10 раз?



Исходные данные для расчёта:

№	Студент	*a*, мкм	*b*, мкм	*t*, мкм	*A*, мм	*B*, мм	*H*, мкм	h_0, мкм
1	Иванов И.И.	300	42	12	4.0	3.2	220	36

Колебания происходят по закону $h = h_0[1 + \varepsilon \sin(\omega t)]$, где $\varepsilon = 0.1$, $\omega = 2\pi f$, $f = 1$ кГц, для латерального движения частота колебаний также равна f.

Постоянные величины, необходимые для расчётов:

– модуль Юнга кремния $E_{Si} = 170$ ГПа;

– плотность кремния $\rho_{Si} = 2.33$ г/см^3;

– плотность воздуха $\rho_{air} = 1.2$ кг/м^3;

– молярная масса воздуха $M_{air} = 28.98$ г/моль;

– число Авогадро $N_a = 6.022 \cdot 10^{23}$ моль$^{-1}$;

– универсальная газовая постоянная $R = 8.314$ Дж/(моль·К);

– коэффициент вязкости для воздуха при н.у. ($P = 10^5$ Па, $T = 20$°C) $\mu = 1.8 \cdot 10^{-5}$ Па·с.