

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Новгородский государственный университет имени Ярослава Мудрого»
Институт электронных и информационных систем

Кафедра физики твердого тела и микроэлектроники

ПОВЕРХНОСТНЫЕ ЯВЛЕНИЯ В ПОЛУПРОВОДНИКАХ

Учебный модуль по направлению подготовки
11.03.04 – Электроника и нанoeлектроника

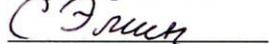
ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

СОГЛАСОВАНО

Принято на заседании Ученого совета ИЭИС

Протокол № 41 от 25.05 2017 г.

Директор ИЭИС

 С.И.Аминов

Разработал

Зав. каф. ФТТМ

 Б.И. Селезнев
« 22 » 05 2017 г.

Принято на заседании кафедры ФТТМ

Протокол № 10 от 22.05 2017 г.

Заведующий кафедрой ФТТМ

 Б.И. Селезнев

Паспорт фонда оценочных средств
по модулю «Поверхностные явления в полупроводниках»
для направления подготовки 11.03.04 – Электроника и нанoeлектроника

Таблица 1

Модуль, раздел (в соответствии с РП)	ФОС		Контролируемые компетенции (или их части)
	Вид оценочного средства	Количество вариантов заданий	
УЭМ1 Теория поверхности			
1.1 Предмет и задачи курса	разноуровневые задачи	5	ОПК-2, ПК-1, ПК-2, ПК-3
1.2 Расчет области пространственного заряда у поверхности полупроводника	разноуровневые задачи	5	
	опрос	10	
1.3 Параметры и характеристики поверхности	разноуровневые задачи	7	
	опрос	10	
1.4 Реальная поверхность полупроводников	разноуровневые задачи	5	
	опрос	10	
1.5 Эквивалентная схема МДП-системы и ее вольт-фарадная характеристика	разноуровневые задачи	7	
	опрос	10	
Рубежный контроль	контрольная работа	1	
УЭМ2 Системы диэлектрик-полупроводник, металл-полупроводник			
2.1 Диэлектрические пленки в микроэлектронике	разноуровневые задачи	7	ОПК-2, ПК-1, ПК-2, ПК-3
	опрос	5	
2.2 Система кремний-диоксид кремния	разноуровневые задачи	6	
	опрос	5	
2.3 Методы ИК-спектроскопии для исследования структуры диэлектрических пленок	разноуровневые задачи	6	
	опрос	5	
2.4 Метод вольт-фарадных характеристик	разноуровневые задачи	6	
	опрос	5	
2.5 Границы раздела металл-полупроводник	разноуровневые задачи	5	
	опрос	5	
Рубежный контроль по УЭМ2	контрольная работа	1	
Аттестация – дифференцированный зачет			

Характеристики оценочных средств

1 Разноуровневые задачи

Варианты разноуровневых задач приведены в приложении А к ФОС.

Таблица 2 – Параметры оценочного средства (разноуровневые задачи)

Источник (1)	Физика конденсированного состояния: контрольные задания к практическим занятиям / сост. Б.И. Селезнев; НовГУ им. Ярослава Мудрого. – Великий Новгород, 2012. – 18 с.
Предел длительности контроля	45 мин на одну задачу
Предлагаемое количество задач из одного контролируемого раздела	1
Последовательность выборки задач из каждого раздела	случайная
Критерии оценки:	
9-10 баллов, если	способен правильно подобрать нужную формулу и правильно ее применить
7-8 баллов, если	способен правильно подобрать нужную формулу, но допускает некритические ошибки в ее использовании
5-6 баллов, если	не всегда адекватно подбирает формулы для решения задачи и (или) использует их с ошибками

2 Опрос

Опрос студентов проводится на каждом занятии.

Комплект вопросов приведен в приложении Б к фонду оценочных средств.

Таблица 3 – Параметры оценочного средства (опрос)

Предел длительности контроля	10-15 мин.
Предлагаемое количество вопросов из одного контролируемого раздела	5-10
Критерии оценки:	
5 баллов, если	90-100% правильных ответов
4 балла, если	70-89% правильных ответов
3 балла, если	50-69% правильных ответов

3 Контрольная работа

Контрольные работы проводятся в рамках рубежного контроля после изучения каждого учебного элемента. Состоят из двух задач. Решение аналогичных задач разбирается на аудиторных занятиях. Комплект всех контрольных задач дается в Приложении В к фонду оценочных средств.

Таблица 4 – Параметры оценочного средства (контрольная работа)

Источник (1)	Физика конденсированного состояния: контрольные задания к практическим занятиям / сост. Б.И. Селезнев; НовГУ им. Ярослава Мудрого. – Великий Новгород, 2012. – 18 с.»
Предел длительности контроля	60 мин
Предлагаемое количество задач	2
Последовательность выборки задач из каждого варианта	случайная
Критерии оценки:	
5 баллов, если	все задачи решены правильно
4 балла, если	задачи решены правильно, но есть не критичные ошибки в расчетах
3 балла, если	правильно решена одна задача

Приложение А (справочное)

Разноуровневые задачи

1 Комплект разноуровневых задач по разделу 1.1.

Для решения на практических занятиях студентам предлагается следующая задача.

Определить форму зон, если к полупроводнику с собственной проводимостью нормально к его поверхности приложено постоянное электрическое поле E , настолько слабое, что везде в полупроводнике $e\varphi/kT \ll 1$. Найти скачок потенциала на поверхности при напряженности электрического поля E . Собственная концентрация $n_i = 2,0 \cdot 10^{13} \text{ см}^{-3}$, $\varepsilon = 16$, $T = 300 \text{ К}$.

Таблица 1 – Значения напряженности электрического поля E

№ варианта	1	2	3	4	5
$E, \text{ В/см}$	120	140	160	180	200

2 Комплект разноуровневых задач по разделу 1.2.

Вычислить величину загиба зон на поверхности собственного германия при комнатной температуре, если на его поверхности адсорбирована донорная примесь с плотностью N . Считать доноры полностью ионизованными, $e\varphi/kT \ll 1$, $n_i = 2,0 \cdot 10^{13} \text{ см}^{-3}$, $\varepsilon = 16$, $T = 300 \text{ К}$.

Таблица 2 – Значения адсорбированной донорной примеси

№ варианта	1	2	3	4	5
$N, \text{ см}^{-2}$	$7 \cdot 10^8$	$8 \cdot 10^8$	10^9	$2 \cdot 10^9$	$3 \cdot 10^9$

3 Комплект разноуровневых задач по разделу 1.3.

Вычислить заряд на поверхности германия n -типа (доноры в объеме полностью ионизованы), если зоны на поверхности загнуты вверх на величину $e\varphi_s = 10 kT$; $n = 2,0 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$, $\varepsilon = 16$, $T = 300 \text{ К}$.

Таблица 3 – Значения концентраций электронов и изгибов зон на поверхности

Номер вариантов	1	2	3	4	5	6	7
$n, \text{ см}^{-3}$	$6 \cdot 10^{15}$	$7 \cdot 10^{15}$	$8 \cdot 10^{15}$	10^{16}	$2 \cdot 10^{16}$	$3 \cdot 10^{16}$	$4 \cdot 10^{16}$
$e\varphi_s$ в ед. kT	5	6	7	8	9	10	12

4 Комплект разноуровневых задач по разделу 1.4.

Вычислить величину загиба зон на поверхности кремния n -типа, если на поверхности адсорбированы доноры, концентрация которых N (считать все доноры полностью ионизованными), при этом $e\varphi/kT \gg 1$, $n = 2,0 \cdot 10^{12} \text{ см}^{-3}$, $\varepsilon = 12$, $T = 300 \text{ К}$.

Таблица 4 – Значения адсорбированной донорной примеси

№ варианта	1	2	3	4	5
$N_D, \text{см}^{-2}$	$7 \cdot 10^{11}$	$8 \cdot 10^{11}$	10^{12}	$2 \cdot 10^{12}$	$3 \cdot 10^{12}$

5 Комплект разноуровневых задач по разделу 1.5.

На рисунке приведена вольт-фарадная характеристика МДП-структуры. Определите напряжение плоских зон, если известно, что концентрация акцепторов в подложке постоянна и составляет N_A , а площадь затвора равна S_G . Температуру считать равной 300 К.

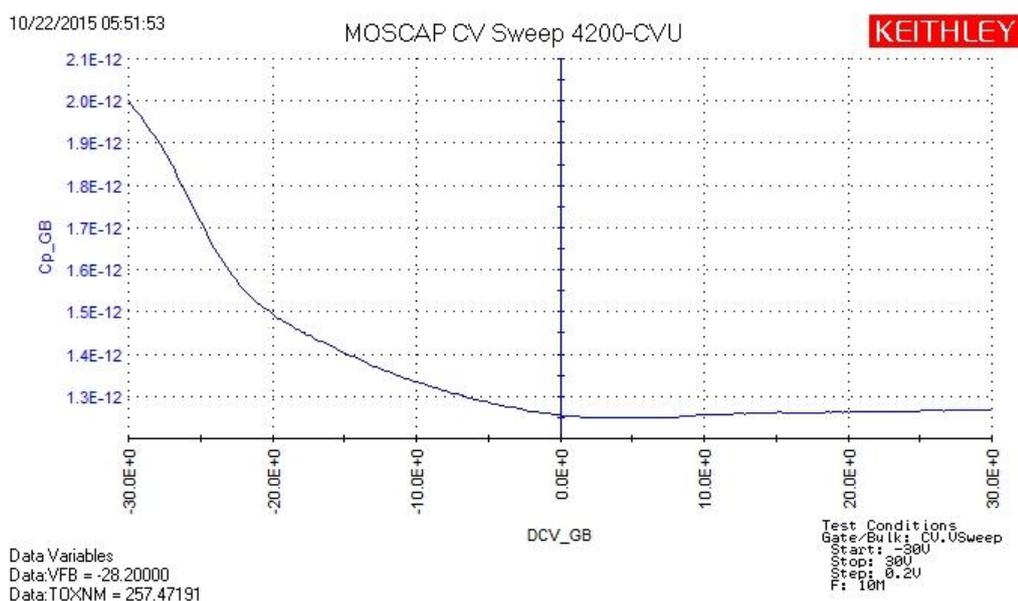


Таблица 5 – Значение концентрации акцепторов и площади затвора

Номер варианта	1	2	3	4	5	6	7
$N_A, \text{см}^{-3}$	$6 \cdot 10^{15}$	$7 \cdot 10^{15}$	$8 \cdot 10^{15}$	10^{15}	$2 \cdot 10^{15}$	$3 \cdot 10^{15}$	$5 \cdot 10^{15}$
$S_G, \text{см}^2$	$1,3 \cdot 10^{-4}$	$1,35 \cdot 10^{-4}$	$1,4 \cdot 10^{-4}$	$1,45 \cdot 10^{-4}$	$1,5 \cdot 10^{-4}$	$1,55 \cdot 10^{-4}$	$1,6 \cdot 10^{-4}$

6 Комплект разноуровневых задач по разделу 2.1.

Найти окончательную толщину окисла после дополнительного окисления в сухом кислороде в течение 2-х часов при температуре $T^\circ\text{C}$ поверхности кремния, покрытой предварительно слоем SiO_2 толщиной 100 нм.

Таблица 6 – Значение температуры окисления и толщины предварительного слоя SiO_2

Номер варианта	1	2	3	4	5	6	7
$T^\circ\text{C}$	970	990	1100	1130	1150	1170	1080
$d, \text{нм}$	80	90	100	110	120	130	140

7 Комплект разноуровневых задач по разделу 2.2.

8 Комплект разноуровневых задач по разделу 2.3.

8.1 Определение состава силикатных стекол на основе анализ спектров ИК-пропускания.

По спектрам ИК-пропускания фосфорно-силикатных стекол определить содержание фосфора. $\text{Si-O} \rightarrow 1090 \text{ см}^{-1}$, $\text{P-O} \rightarrow 1325 \text{ см}^{-1}$.

1-ый вариант—5-8%; 2-ой вариант—8-11%; 3-й вариант—11-14%.

8.2 Определение состава силикатных стекол на основе анализ спектров ИК-пропускания. По спектрам ИК-пропускания боросиликатных стекол определить содержание бора. $\text{Si-O} \rightarrow 1090 \text{ см}^{-1}$, $\text{B-O} \rightarrow 1390 \text{ см}^{-1}$.

1-ый вариант—5-10%; 2-ой вариант—10-15; 3-й вариант—15-20%.

9 Комплект разноуровневых задач по разделу 2.4.

Дать схематическое изображение зонных диаграмм при тепловом равновесии и в режиме плоских зон для идеальной МОП-структуры с алюминиевым затвором, изготовленной:

на кремнии n-типа с удельным сопротивлением $1 \text{ Ом} \cdot \text{см}$;

1) на кремнии **n-типа** с удельным сопротивлением $1 \text{ Ом} \cdot \text{см}$;

2) на кремнии **n-типа** с удельным сопротивлением $2 \text{ Ом} \cdot \text{см}$;

3) на кремнии **n-типа** с удельным сопротивлением $3 \text{ Ом} \cdot \text{см}$;

4) на кремнии **p-типа** с удельным сопротивлением $1 \text{ Ом} \cdot \text{см}$;

5) на кремнии **p-типа** с удельным сопротивлением $2 \text{ Ом} \cdot \text{см}$;

6) на кремнии **p-типа** с удельным сопротивлением $3 \text{ Ом} \cdot \text{см}$;

10 Комплект разноуровневых задач по разделу 2.5.

Рассмотреть переходы металл-полупроводник, которые ведут себя в соответствии с теорией Шоттки:

а) нарисовать теоретическую энергетическую зонную диаграмм для меди (работа выхода равна $4,5 \text{ эВ}$) в контакте с кремнием, имеющим работу выхода $4,25 \text{ эВ}$.

б) если свет падает на этот переход и генерирует электронно-дырочные пары:

1) в какую сторону потечет ток в приборе.если переход включить в цепь?

2) каково будет максимальное напряжение, которое может быть измерено на переходе (при выходном токе, равном нулю) ?

в) нарисовать энергетическую зонную диаграмму для меди в контакте с кремнием, имеющим работу выхода $4,9 \text{ эВ}$.

г) сравнить электрические свойства систем металл-полупроводник, заданных в пп. а и в.

Приложение Б (справочное)

Вопросы для опроса

Теория поверхности

1. Атомарно чистая поверхность. Поверхностные уровни Тамма.
2. Применение диэлектрических пленок в микроэлектронике.
3. Поверхность реальных кристаллов германия и кремния.
4. Энергетические зоны у поверхности полупроводника.
5. Квазинейтральная область.
6. Обедненная область.
7. Инверсные и обогащенные слои.
8. Безразмерный электростатический потенциал Y .
9. Поверхностный и объемный заряд.
10. Емкость приповерхностного слоя пространственного заряда.
11. Приповерхностные избытки носителей заряда.
12. Поверхностная проводимость.
13. Поверхностная рекомбинация.
14. Реальная поверхность полупроводников
15. Быстрые поверхностные состояния.
16. Модели происхождения центров захвата.
17. Медленные состояния.
18. Низкочастотная эквивалентная схема МДП- структуры.
19. Влияние емкости поверхностных состояний на форму $C(V)$ кривых.

Системы диэлектрик-полупроводник, металл-полупроводник

1. Диоксид кремния.
2. Нитрид кремния.
3. Оксид алюминия.
4. Пассивация поверхности полупроводников.
5. Защитные покрытия при ионной имплантации в арсенид галлия и нитрид кремния.
6. Взаимосвязь технологических параметров и электрофизических свойств МДП-систем.
7. Фиксированный заряд.
8. Поверхностные состояния.
9. Стабилизация электрофизических свойств системы **Si-SiO₂**.
10. Характеристики полос ИК-пропускания
11. Структура пленок **SiO₂**, полученных различными методами.
12. Структура нитридных и оксинитридных пленок.
13. Квазистатические и высокочастотные $C-V$ характеристики.
14. Определение величины и знака встроенного заряда на основе теоретического и экспериментального значения напряжения плоских зон.
15. Границы раздела металл - полупроводник.
16. Зонные энергетические диаграммы барьера, образующегося при контакте металла с полупроводником.
17. Омический контакт.
18. Барьеры Шотки к кремнию и арсениду галлия.