

Федеральное агентство по образованию
ГОУ ВПО «Кемеровский государственный университет»
Кафедра общей физики

«Утверждаю»
Декан физического факультета

«__» _____ 2008 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА
курса «Процессы на поверхности твердых тел»

для специальности **010701 ФИЗИКА, СД.**

факультет: Физический

Курс _____ 5 _____
семестр _____ 10 _____
лекции _____ 30 _____ (часов)
практические занятия _____ 30 _____ (часов)
лабораторные _____ _____ (часов)
самостоятельные занятия _____ 80 _____ (часов)
Всего часов _____ 140 _____

экзамен _____
(семестр)
зачет _____ 10 _____
(семестр)

Составитель:

к.х.н., доцент кафедры общей физики КемГУ Титов Ф. В.

Кемерово, 2008

Рабочая программа обсуждена на заседании кафедры общей физики

Протокол № ____ от « ____ » _____ 2008 г.

Зав. кафедрой _____ Полыгалов Ю. И.

Одобрено методической комиссией физического факультета

Протокол № ____ от « ____ » _____ 2008 г.

Председатель _____ Золотарев М. Л.

1. ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА.

Курс «Процессы на поверхности твердых тел» является дисциплиной специализации для студентов пятого курса физического факультета.

Последние годы характеризуются возрастанием интереса к науке о поверхности и значительным изменением существующих здесь представлений. Эти процессы порождены новыми достижениями, как в области эксперимента, так и в теоретической области. Экспериментальные достижения связаны с появлением новых методов измерения поверхностных характеристик. Такие экспериментальные исследования обеспечили более глубокое проникновение в структуру поверхностных энергетических уровней, в частности уровней, отвечающих связывающим орбиталям в случае взаимодействия адсорбата с поверхностью. Теоретические достижения обусловлены введением новых квантовомеханических методов изучения поверхности и использованием «кластерных» моделей, которые позволили получить количественное описание поверхностных орбиталей и соответствующих энергетических уровней. **Цель настоящего курса** - дать обзор современных представлений о поверхности и объединить возникшие новые концепции с накопленным за несколько прошедших десятилетий фактическим материалом.

Курс лекций охватывает широкий круг вопросов, многие из которых принадлежат области, относящейся как к физике, так и к химии поверхности твердого тела. Важнейшими понятиями курса являются связывающие орбитали, энергетические уровни и энергетические зоны. Основным объектом изучения являются полупроводники, т.к. для них имеется гораздо больше методов получения данных о характеристиках поверхности, чем для металлов или изоляторов.

Задачи изучения дисциплины:

- знакомство студентов с современными представлениями о физике и химии явлений, протекающих на поверхности твердого тела, соприкасающейся с газовой или жидкой фазой;
- изучение процессов хемосорбции и гетерогенного катализа и связанными с ними электронными процессами;
- изучение явлений в области пространственного заряда в приповерхностном слое полупроводника, фотоадсорбционного эффекта в полупроводниках, роли поверхностного состояния в гетерогенном катализе.

В результате освоения дисциплины студент должен знать: типы взаимодействия инородных атомов и молекул с поверхностью твердого тела, эффекты, обусловленные пространственным зарядом, свойства поверхности в отсутствие адсорбата, виды адсорбции, свойства поверхности раздела «твердое тело - жидкость».

2. ТЕМАТИЧЕСКИЙ ПЛАН

№	Название и содержание разделов, тем, модулей	Объем часов					Формы контроля
		Общий	Аудиторная работа			Самостоятельная работа	
			Лекции	Практические (или семинарские)	Лабораторные		
1	2	3	4	5	6	7	8
1.	Поверхностные состояния и поверхностные центры	12	2	2		8	
2.	Связь инородных атомов и молекул с поверхностью твердого тела	12	4	2		6	
3.	Эффекты, обусловленные пространственным зарядом	14	4	2		8	
4.	Экспериментальные методы исследования поверхности	18	4	6		8	
5.	Поверхность в отсутствие адсорбата	13	2	3		8	
6.	Связывание инородных веществ на поверхности твердого тела.	13	2	3		8	
7.	Нелетучие добавки на поверхности твердого тела	10	2	2		6	
8.	Адсорбция	16	4	4		8	К. р
9.	Поверхность раздела твердое тело - жидкость	10	2	2		6	
10.	Фотоэффекты на поверхности полупроводника	10	2	2		6	
11.	Поверхностные центры в гетерогенном катализе	12	2	2		8	
Итого:		140	30	30		80	зачет

3. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

1. Поверхностные состояния и поверхностные центры. Сопоставление химического и электронного подходов к поверхности. Уровни поверхностных состояний на зонной схеме. Энергия Ферми в модели поверхностных состояний.

2. Связь инородных атомов и молекул с поверхностью твердого тела. Типы взаимодействия. Химическая связь. Поверхностные центры кислотного и основного типа. Связывание адсорбата на различных твердых телах. Движение поверхностных атомов: релаксация, реконструкция и перемещение. Электронные энергетические уровни комплекса сорбат - твердое тело. Гидратация на поверхности ионных твердых тел. Поверхностные неоднородности.

3. Эффекты, обусловленные пространственным зарядом. Двойной слой, состоящий из двух заряженных плоскостей. Пространственный заряд, обусловленный неподвижными ионами. Обедненный слой. Двойной слой в зонной схеме. «Закрепление» энергии Ферми. Эффекты пространственного заряда в случае поверхности, покрытой активными веществами. Обогащенный слой. Инверсионный слой. Перенос электронов и дырок между объемом и поверхностью твердого тела. Основная физическая модель захвата и инжекции электронов и дырок. Перенос электронов и дырок при больших изменениях поверхностного барьера. Перенос заряда на поверхностные атомы или молекулы в полярной среде. Флуктуирующие уровни энергии.

4. Экспериментальные методы исследования поверхности. *Методы исследования поверхности, основанные на электрических и оптических измерениях.* Работа выхода. Поверхностная проводимость. Электроотражение. Эффект поля. Поверхностная фото-э. д. с. Емкость двойного слоя. Канальные измерения. Порошковая проводимость. Эллипсометрия. *Спектроскопические методы исследования поверхности.* Ультрафиолетовая фотоэлектронная спектроскопия (УФС). Спектроскопия потерь энергии (СПЭ). Спектроскопия потенциала появления мягких рентгеновских лучей (СППМРЛ). Автоэлектронная микроскопия (АЭМ). Автоионная микроскопия (АИМ). Спектроскопия нейтрализации ионов (СНИ). Дифракция медленных электронов (ДМЭ). Методы определения химического состава поверхности. Исследование химических реакций, вызванных падающим пучком. *Химические методы исследования.* Поглощение инфракрасного излучения. Термостимулированная десорбция. Адсорбция газообразных кислот и оснований или индикаторов.

5. Поверхность в отсутствие адсорбата. Классификация твердых тел. Методы получения чистой поверхности. *Теоретические модели.* Квантовые модели. Полуклассические модели. Модель Маделунга для ионных твердых тел. Модели для описания обобществленных электронных пар. Центры Льюиса и Бренстеда. Сравнение различных поверхностных состояний и центров. *Исследование ионных твердых тел в отсутствие адсорбата.* Реконструкция поверхности ионных твердых тел. Физические исследования поверхности ионных твердых тел. Химические исследования поверхности ионных твердых тел. *Экспериментальные исследования свободной от адсорбата поверхности ковалентных и металлических твердых тел.* Реконструкция поверхности ковалентных и металлических твердых тел. Измерение электрических свойств собственных поверхностных состояний ковалентных твердых тел. Спектроскопические методы исследования поверхности.

6. Связывание инородных веществ на поверхности твердого тела. Реконструкция и перемещение в процессах связывания. *Полуклассическая модель связи: поверхностная молекула.* Сопоставление модели поверхностной молекулы с моделью жестких зон. Связывание адсорбата на ковалентных и металлических твердых телах. Связывание адсорбата на ионных твердых телах. Многослойная адсорбция: развитие новой фазы. *Квантовые модели связи адсорбат - твердое тело.* Теория твердого тела: полубесконечный кристалл. Кластерные модели. Взаимодействующая поверхностная молекула (метод модельного гамильтониана). Другие квантовые модели. *Измерение созданных адсорбатом поверхностных состояний на ковалентных и металлических твердых телах.* Сдвиги вследствие экранирования и другие погрешности измерений. Углы связей. Энергетические уровни поверхностных состояний, образованных связями сорбат - сорбент. *Химия поверхностных состояний.* Изменение энергии поверхностного состояния вследствие связывания. Влияние полярной среды или коадсорбата на энергию поверхностного состояния. Поверхностные состояния, образованные многоэквивалентными инородными адсорбатами. Образование зон поверхностных состояний.

7. Нелетучие добавки на поверхности твердого тела. *Дисперсность добавок.* Методы диспергирования добавок. Измерение дисперсности. Спекание диспергированных частиц и поверхностная диффузия адсорбатов. *Кластеры и переход от молекулы к твердому телу.* Контроль свойств поверхности с помощью добавок. Эффекты, обусловленные присутствием добавок. Реальная поверхность.

8. Адсорбция. Изотермы и изобары адсорбции. Физическая адсорбция. Теплота и энергия активации адсорбции, необратимая хемосорбция. Сверхструктуры,

образуемые адсорбатом. *Ионсорбция на полупроводниках* Адсорбированные частицы как поверхностные состояния. Экспериментальные данные по ионсорбции. *Адсорбция при локальном связывании*. Адсорбция на ионных твердых телах. Адсорбция на поверхности платины.

9. Поверхность раздела твердое тело - жидкость. Двойные слои и потенциалы в электрохимических измерениях. Перенос заряда между твердым телом и ионами раствора. Положение энергетических уровней поверхностных групп относительно краев зон. *Исследования полупроводниковых электродов*. Методы измерений. Образование радикалов (удвоение тока). Измерение положений энергетических уровней и краев зон. Другие методы измерения переноса заряда. Сравнение поверхностей раздела твердое тело — жидкость и твердое тело — газ.

10. Фотоэффекты на поверхности полупроводника. Простая рекомбинация электрон - дырка. Фотоадсорбция и фотодесорбция. Фотокатализ. Прямое возбуждение поверхностных состояний фотонами.

11. Поверхностные центры в гетерогенном катализе. Закономерности гетерогенного катализа. Поверхностные центры, связанные со ступенями и другими геометрическими факторами. Роль кислотных и основных центров в каталитических реакциях. Ковалентное связывание на координационно-ненасыщенных металлических и катионных центрах. Центры в окислительном катализе.

4. ПЕРЕЧЕНЬ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

1. Исследование морфологии поверхности методом атомно-силовой микроскопии. Физические принципы образования изображений – 6 час.
2. Эллипсометрия – 4 час.
3. Определение влияния состава поверхности на поверхностную энергию твердого тела – 7 час.
4. Изучение адсорбции – 10 час.

5. КОНТРОЛЬНЫЕ ЗАДАНИЯ

1. Сопоставление химического и электронного подходов к поверхности.
2. Уровни поверхностных состояний на зонной схеме. Энергия Ферми в модели поверхностных состояний.
3. Типы взаимодействия инородных атомов и молекул с поверхностью твердого тела.
4. Движение поверхностных атомов.

5. Электронные энергетические уровни комплекса сорбат - твердое тело. Гидратация на поверхности ионных твердых тел. Поверхностные неоднородности.
6. Двойной слой, состоящий из двух заряженных плоскостей.
7. Пространственный заряд, обусловленный неподвижными ионами. Обедненный слой.
8. Двойной слой в зонной схеме. «Закрепление» энергии Ферми.
9. Эффекты пространственного заряда в случае поверхности, покрытой активными веществами.
10. Перенос электронов и дырок между объемом и поверхностью твердого тела.
11. Методы исследования поверхности, основанные на электрических и оптических измерениях.
12. Спектроскопические методы исследования поверхности.
13. Химические методы исследования поверхности.
14. Классификация твердых тел. Методы получения чистой поверхности.
15. Модель Маделунга для ионных твердых тел.
16. Модели для описания обобществленных электронных пар. Центры Льюиса и Бренстеда.
17. Физические исследования поверхности ионных твердых тел.
18. Химические исследования поверхности ионных твердых тел.
19. Экспериментальные исследования свободной от адсорбата поверхности ковалентных и металлических твердых тел.
20. Сопоставление модели поверхностной молекулы с моделью жестких зон.
21. Связывание адсорбата на ковалентных и металлических твердых телах.
22. Связывание адсорбата на ионных твердых телах.
23. Теория твердого тела: полубесконечный кристалл.
24. Кластерные модели связи адсорбат – твердое тело.
25. Взаимодействующая поверхностная молекула (метод модельного гамильтониана).
26. Измерение созданных адсорбатом поверхностных состояний на ковалентных и металлических твердых телах.
27. Сдвиги вследствие экранирования и другие погрешности измерений.

28. Изменение энергии поверхностного состояния вследствие связывания.
29. Влияние полярной среды или коадсорбата на энергию поверхностного состояния.
30. Нелетучие добавки на поверхности твердого тела.
31. Изотермы и изобары адсорбции. Физическая адсорбция.
32. Теплота и энергия активации адсорбции, необратимая хемосорбция.
33. Ионсорбция на полупроводниках.
34. Адсорбция при локальном связывании.
35. Двойные слои и потенциалы в электрохимических измерениях.
36. Перенос заряда между твердым телом и ионами раствора. Положение энергетических уровней поверхностных групп относительно краев зон.
37. Сравнение поверхностей раздела твердое тело - жидкость и твердое тело - газ.
38. Фотоадсорбция и фотодесорбция.
39. Фотокатализ.
40. Поверхностные центры в гетерогенном катализе.
41. Центры в окислительном катализе.

6. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Список основной учебной литературы

Сведения об учебниках			Количество экземпляров в библиотеке на момент утверждения программы	Электронный вариант в библиотеке факультета
Наименование, гриф	Автор	Год издания		
Химическая физика поверхности твердого тела, М., Мир	С. Моррисон	1980	4	-
Физика поверхности, М., Мир	Э. Зенгуил	1990	3	-
Поверхностные свойства твердых тел, М.: Мир	М. Грин	1996	4	-

Дополнительная литература:

1. Ф. Бехштедт, Р. Эндерлайн. Поверхности и границы раздела полупроводников М., Мир, 1990.
2. Р. Хофман. Строение твердых тел и поверхностей. М., Мир 1990.
3. Д. Вудраф, Т. Делчар. Современные методы исследования поверхности. М., Мир, 1989.
4. М. Джейкок, Дж. Прафит. Химия поверхностей раздела фаз. М.: Мир, 1984.
5. Ансельм А.И. «Введение в теорию полупроводников», М.: Наука, 1978.
6. Киттель Ч. «Введение в физику твёрдого тела», М.: Наука, 1978.
7. Займан Дж. «Принципы теории твёрдого тела», М.: Мир, 1974.
8. Ашкрофт Н., Мермин П. «Физика твердого тела», М.: Мир, 1979.
9. Бонч-Бруевич В.Л., Калашников С.Г. «Физика полупроводников», М.: Наука, 1990.
10. Анималу А. «Квантовая теория кристаллических твердых тел», М.: Мир, 1981
11. Киреев П.С. «Физика полупроводников», М.: Высшая школа, 1975.

Сведения о переутверждении РП на текущий учебный год и регистрация изменений

№ из- ме- не- ния	Учебный год	Содержание изменений	Преподаватель- разработчик программы	Рабочая программа пере- смотрена и одобрена на заседании кафедры	Внесенные изменения утверждаю: <u>Декан факультета:</u>
				Протокол № _____ «__» _____ 200_ г.	«__» _____ 200_ г.
				Протокол № _____ «__» _____ 200_ г.	«__» _____ 200_ г.
				Протокол № _____ «__» _____ 200_ г.	«__» _____ 200_ г.