**Федеральное государственное бюджетное образовательное**

**учреждение высшего образования**

**Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова**

ФИЗИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ

КАФЕДРА ФИЗИЧЕСКОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ

УТВЕРЖДАЮ

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_/ /

«\_\_\_» \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_20 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

Наименование дисциплины:

**Эмиссионная электроника**

Уровень высшего образования:

**Специалитет**

Специальность:

**03.05.02 Фундаментальная и прикладная физика**

Направленность (профиль)/специализация образовательной программы:

Физическая электроника

Форма обучения:

Очная

Москва 20\_\_\_

Рабочая программа дисциплины разработана в соответствии с самостоятельно установленным МГУ образовательным стандартом (ОС МГУ) для реализуемых основных профессиональных образовательных программ высшего образования по специальности 03.05.02 «Фундаментальная и прикладная физика», утвержденным приказом МГУ от 21.12.2018 г. № 1780.

Год (годы) приема на обучение\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

**Авторы–составители:**

1. К.ф.-м.н. Карташов Игорь Николаевич, кафедра физической электроники физического факультета МГУ

Заведующий кафедрой

Доктор физико-математических наук, профессор Черныш Владимир Савельевич, заведующий кафедрой физической электроники

**Аннотация к рабочей программе дисциплины**

Рассматриваются вопросы, связанные с эмиссией заряженных частиц с поверхности конденсированных сред. Излагаются основные типы эмиссионных процессов: термоэлек-тронная эмиссия и эмиссия “горячих” электронов, фотоэлектронная эмиссия, вторичная электронная и ион-электронная эмиссии, автоэлектронная и взрывная эмиссии.

**1. Место дисциплины (модуля) в структуре образовательной программы**

Вариативная часть, дисциплина по выбору

**2. Входные требования для освоения дисциплины (модуля), предварительные условия**

Не установлены

**3. Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), соотнесенные с требуемыми компетенциями выпускников**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Код и наименование компетенции** | **Код и наименование индикатора (индикаторов) достижения компетенции** | **Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), соотнесенные с индикаторами достижения компетенций** |
|  |  | Знать основные разделы эмиссионной электроники  Уметь применять фундаментальные знания в области эмиссионной электроники для решения научно-исследовательских задач  Владеть методами исследования в области эмиссионной электроники для решения практических задач |

**4.** Объем дисциплины (модуля) составляет 2 з.е., в том числе: 36 академических часов, отведенных на контактную работу обучающихся с преподавателем, 36 академических часов, отведенных на самостоятельную работу обучающихся.

**5.**Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и виды учебных занятий

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины (модуля),**  **Форма промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)** | **Всего**  **(ак.ч.)** | **В том числе** | | | | | | **Форма текущего контроля успеваемости, наименование** |
| **Контактная работа  (работа во взаимодействии с преподавателем)**  ***Виды контактной работы, академические часы[[1]](#footnote-1)*** | | | | | **Самостоятельная работа обучающегося,**  **академические часы** |
| **Занятия лекционного типа (лекции)** | **Занятия семинарского типа** | | | **Всего** |
| **Семинары** | **Лабораторные занятия\*** | **Практические занятия\*** |
| **Введение** | **8** | **4** |  |  |  | **4** | **4** | Опрос  Контрольная работа |
| **Термоэлектронная эмиссия и эмиссия “горячих” электронов** | **14** | **8** |  |  |  | **8** | **6** | Опрос  Контрольная работа |
| **Фотоэлектронная эмиссия** | **14** | **8** |  |  |  | **8** | **6** | Опрос  Контрольная работа |
| **Вторичная электронная и ион-электронная эмиссия** | **14** | **8** |  |  |  | **8** | **6** | Опрос  Контрольная работа |
| **Автоэлектронная и взрывная эмиссии** | **14** | **8** |  |  |  | **8** | **6** | Опрос  Контрольная работа |
| **Промежуточная аттестация – зачет** | **8** | | | | | | **8[[2]](#footnote-2)** |  |
| **Итого** | **72** |  | | | | | **36** |  |

\*Лабораторные занятия, практические занятия относятся к практической подготовке обучающихся.

**6. Фонд оценочных средств для оценивания результатов обучения по дисциплине (модулю)**

6.1. Типовые задания и иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения:

Типовые вопросы к промежуточной аттестации и опросу:

1. Термоэлектронная эмиссия. Термодинамический и статистический подходы. Формула Ричардсона-Дешмана.

2. Термоэмиссионная постоянная. Истинная, эффективная, приведенная (ричардсонов-ская) работы выхода.

3. Эмиссия из металлов, собственных и примесных полупроводников.

4. Коэффициенты отражения частиц и прозрачности. Приведенный коэффициент про-зрачности диода.

5. Экспериментальные измерения термоэлектронной эмиссии. Измерение коэффициента прозрачности. Измерение работы выхода.

6. Влияние внешнего электрического поля на эмиссию с поверхностей проводника и по-лупроводника. Эффект Шоттки. Эффект искривления зон.

7. Пленочные катоды. Теория “пятен”. Аномальный эффект Шоттки. Оксидные катоды.

8. Практические применения термоэлектронной эмиссии. Термоэмиссионный преобра-зователь тепловой энергии в электрическую.

9. Отрыв температуры электронов от температуры решетки. “Горячие” электроны. Со-здание “горячих” электронов. Эмиссия и кулоновский взрыв. Малтер-эффект.

10. Основные законы фотоэффекта. Закон Столетова. Закон Эйнштейна. Красная (длин-новолновая) граница.

11. Теория Фаулера. Роль теплового движения.

12. Элементы квантовомеханической теории фотовозбуждения электронов.

13. Объемный и поверхностный фотоэффекты. Прямые и непрямые переходы. Селектив-ный и векториальный эффекты.

14. Влияние внешнего электрического поля. Особенности фотоэффекта в полупроводни-ках. Фотоэлектронная и термоэлектронная работы выхода.

15. Измерение работы выхода. Квантовый выход и чуствительность фотокатода. Пара-метры и практические применения фотокатодов.

16. Спектры вторичных электронов. Коэффициент истинной вторичной электронной эмиссии. Закон подобия. Параметры и практические применения вторично-электронных эмиттеров.

17. Потенциальная и кинетическая ион-электронные эмиссии.

18. Автоэлектронная эмиссия. Формула Фаулера-Нордгейма. Учет зеркального изобра-жения заряда.

19. Автотермоэлектронная эмиссия. Особенности автоэлектронной эмиссии с поверхно-сти полупроводников.

20. Энергетический спектр автоэлектронов. Эффект Ноттингема.

21. Технологии изготовления “острийного” рельефа автокатодов. Параметры и практиче-ские применения автокатодов.

22. Взрывная эмиссия и эмиссия из плазмы. Параметры и практические применения взрывоэмиссионных катодов. Диод с магнитной изоляцией.

Типовые задачи к промежуточной аттестации и контрольной работе:

1. За счет эффекта Шоттки работа выхода электронов уменьшилась на 0,2 эВ. Найти напряженность электрического поля вблизи поверхности.

2. Катод площадью 1 см2 при температуре 1000 К дает ток 3 А. Найти работу выхода электронов.

3. Вычислить удельную мощность, которую нужно подвести к катоду, работающему в режиме насыщения для получения термоэлектронного тока плотностью 0,1 А/см2 при температуре 2000 К.

4. Плоский диод имеет катод площадью 5 см2 с работой выхода 2 эВ, нагретый до тем-пературы 1500 К. Расстояние от анода до катода 0,5 см. Найти анодный ток при при-ложенном напряжении 500 В.

5. Найти максимальную скорость фотоэлектронов при облучении катода с работой вы-хода 3 эВ излучением с длиной волны 0,3 мкм.

6. Найти квантовый выход фотокатода если его чувствительность на длине волны 0,5 мкм составляет 10-6 А/Вт.

7. Найти смещение длинноволновой границы фотоэффекта для катода с работой выхода 2 эВ при приложении к нему ускоряющего электрического поля 3000 В/см.

8. Найти ширину потенциального барьера треугольной формы для электрона находяще-гося на уровне Ферми при приложении к катоду с работой выхода 4 эВ ускоряющего электрического поля напряженностью 107 В/см.

9. Найти плотность тока автоэлектронной эмиссии катода с работой выхода 4 эВ при приложении ускоряющего электрического поля напряженностью 107 В/см (Считать потенциальный барьер имеет треугольную форму).

10. Найти плотность тока автоэлектронной эмиссии с острия катода (радиус кривизны 10-5 см) с работой выхода 4 эВ при приложении ускоряющего анодного напряжения 100 В (Считать потенциальный барьер имеет треугольную форму).

6.2. Шкала и критерии оценивания

**7. Ресурсное обеспечение**

* Перечень основной и дополнительной учебной литературы:

Основная литература

1. Л.Н.Добрецов, М.В.Гомоюнова. Эмиссионная электроника. М.: Наука, 1966.

2. М.И.Елинсон, Г.Ф.Васильев. Ненакаливаемые катоды. М.: Наука, 1974.

3. Field emission in vacuum microelectronics. Ed. George Fursey. Kluwer Academic / Plenum Publishers, New York. ISBN: 0-306-47450-6.

Дополнительная литература

1. А. Модинос. Термо-, авто- и вторичная электронная спектроскопия твердых тел. М.: Мир, 1993.

Периодическая литература

1. G.N. Fursey. Field emission in vacuum micro-electronics. // Applied Surface Science 215 (2003) 113–134.

2. V. Semet et al. Low work-function cathodes from Schottky to field-induced ballistic electron emission: Self-consistent numerical approach. // PHYSICAL REVIEW B 75, 045430 (2007).

3. Vu Thien Binh, and Ch. Adessi. New Mechanism for Electron Emission from Planar Cold Cath-odes: The Solid-State Field-Controlled Electron Emitter. // PHYSICAL REVIEW LETTERS 85 (2000), 864-867.

4. V. Litovchenko et al. Quantum-size resonance tunneling in the field emission phenomenon. // JOURNAL OF APPLIED PHYSICS 96 (2004), 867-877.

Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»:

**8. Язык преподавания:** русский

1. *Текущий контроль успеваемости может быть реализован в рамках занятий лекционного и(или) семинарского типа.* [↑](#footnote-ref-1)
2. *Часы на проведение промежуточной аттестации выделяются из часов самостоятельной работы обучающегося* [↑](#footnote-ref-2)