

КРИТИКА И БИБЛИОГРАФИЯ

НОВЫЕ КНИГИ ПО ПОЛУПРОВОДНИКАМ

Козуб В. И.

Crystalline semiconducting materials and devices / Ed. by P. N. Butcher, N. H. March, M. P. Tosi. N. Y.—London: Plenum Press, 1986. 645 p.

Книга, написанная ведущими специалистами Европы и Японии, содержит обширный и подробный обзор современных знаний о физике кристаллических полупроводников (КП), об их использовании в полупроводниковых приборах. Даны сведения о химической связи в полупроводниках, формировании энергетических зон, а также о теоретических методах, используемых для изучения соответствующих вопросов. Анализируется зонная структура полупроводников; представлены методы сильной связи, ортогонализированных плоских волн, функций Грина и метод псевдопотенциала. Изучены свойства фононных спектров — решеточная динамика Борна—фон Кармана, применение теории групп, роль электронного взаимодействия; описаны методы определения фононных спектров. Подробно изложена теория кинетических явлений в КП: метод уравнения Больцмана и приближение времени релаксации, характеристики рассеяния на статических дефектах и фононах, теория горячих электронов; выводы теории сравниваются с экспериментальными данными. Специальная глава посвящена динамике локализованных фононных мод. Обсуждаются теоретические аспекты, связанные с мелкими примесными состояниями (одноэлектронное приближение, приближение эффективной массы, экранирование примесного потенциала и т. д.). Значительное место отведено проблеме электронных состояний и структурным свойствам глубоких центров: даны общие сведения о проблеме, простейших моделях и основных концепциях, подходы из первых принципов (в том числе метод функционала плотности, метод функций Грина, кластерный метод и т. д.). Исследуются вопросы о примесной зоне, в частности локализация в примесной зоне (теория скейлинга и модель Андерсона, машинные эксперименты и т. д.), электрон-электронное взаимодействие в примесной зоне. Описаны некоторые специальные материалы: узкозонные полупроводники, магнитные и полумагнитные полупроводники. Рассмотрена электронная структура поверхностей и поверхностей раздела как в идеальной, так и в реальной ситуациях, в том числе для контакта металл—полупроводник. Специально изучена проблема слоев пространственного заряда у поверхностей раздела. Дана теория поверхностных волн. Представлены основные процессы в полупроводниковых устройствах как в равновесном, так и в неравновесном состояниях. Особое внимание уделено материалам и структурам для устройств оптической связи (светодиодам, полупроводниковым лазерам и детекторам). Разобраны вопросы, относящиеся к ионной имплантации и отжигу. Освещены методы приготовления и области применения аморфного кремния (осаждение пленок в плазме тлеющего разряда, полевые транзисторы на тонких пленках α -Si, приборы на контактах α -Si).

Semiconductor interfaces: formation and properties (Springer proceedings in physics. V. 22). Proceedings of the Workshop, Les Houches, France / Ed. by G. Le Lay, J. Derrien, N. Vocca. Berlin, etc.: Springer-Verlag, 1987. 389 p.

Книга содержит материалы состоявшегося во Франции в начале 1987 г. рабочего совещания по физике и технологии полупроводниковых границ раздела (ПГР). В ней даны общие представления о способах создания и свойствах ПГР, освещены вопросы, связанные

с экспериментальным изучением процесса приготовления ПГР, в частности молекулярно-пучковой эпитаксии, а также с методами структурной характеристики ПГР. При этом описаны методы рентгеновской дифракции, анализа тонкой структуры поверхностно-чувствительного рентгеновского поглощения, использования электронной спектроскопии для определения локальной геометрии поверхности, методы электронной и сканирующей туннельной микроскопии, эмиссионной спектроскопии, рассеяния низкоэнергетических ионных пучков и т. д. Значительное место отведено электронным свойствам ПГР. Освещены вопросы, связанные с теорией зонной структуры ПГР, пиннингом уровня Ферми в барьерах Шоттки, фотоэмиссией (в частности, двухфотонной), обратный фотоэффект, приготовление и электрические свойства контактов металл—полупроводник, нестационарная спектроскопия глубоких уровней и другие проблемы. Обсуждаются важнейшие оптические и колебательные свойства ПГР. Рассмотрены современное состояние и перспективы применения ПГР, в частности роль поверхностей раздела в полупроводниковых гетероструктурах и физика транзисторов с металлической базой.

The physics of the two-dimensional electron gas Ed. by J. T. Devreese. F. M. Peeters. N. Y.: Plenum Press, 1987. 442 p.

Значительное место в этом издании, содержащем материалы школы по физике двумерного электронного газа, состоявшейся в Бельгии в 1986 г., отведено проблеме квантового эффекта Холла (КЭХ). Даны общие сведения о КЭХ, вводный обзор теории целочисленного КЭХ, экспериментальные аспекты дробного КЭХ, освещены различные взаимодействия в двумерной электронной системе, в частности магнитные поляроны, проявляющиеся в дробном КЭХ. Подробно изучено электрон-фононное взаимодействие в двумерном электронном газе: поляронный эффект и экранирование, эффекты, связанные с горячими носителями в квазидвумерных полярных полупроводниках, аномальные осцилляции тока в МДП структурах. Анализируется зонная структура; изложена k - r -теория для двумерных систем (вариационные методы, численные расчеты, детали, связанные с гетероструктурами, спиновым расщеплением и т. д.). Исследовано поведение инверсионных электронов в InSb в скрещенных электрическом и магнитном полях. Обсуждаются электрические свойства сверхрешеток на основе соединений $A^{III}B^{VI}$ (зонная структура, оптические и магнитооптические свойства, использование их в ИК устройствах и др.). Рассмотрены некоторые специальные вопросы: плотность состояний в сильных магнитных полях, свойства электронов на поверхности жидкого He.

Электронные свойства полуметаллов и полупроводников Под ред. С. И. Радауцана. Кишинев: Штиинца, 1987. 140 с.

Сборник оригинальных работ посвящен различным электронным свойствам полуметаллов и полупроводников. Основное внимание уделено теоретическому и экспериментальному исследованию соединений $TlB^V C_2^{VI}$ и их твердых растворов с халькогенидами Pb. Изучены явление двойной инверсии зонной структуры в $TlBi_{1-x}Sb_x C_2^{VI}$, спектры отражения и оптические функции $TlBiSe_2$, $TlBiTe_2$, $TlSbTe_2$, $TlBiS_2$; температурное поведение кинетических коэффициентов твердых растворов $(TlSbTe_2)_x + (2PbTe)_{1-x}$. Приведены результаты исследования перспективного термоэлектрического материала Bi—Sb (термоэлектрических свойств, поперечного магнитосопротивления в сильных полях и т. д.). Ряд сообщений посвящен Bi: обсуждаются упругие свойства нитей, размерные эффекты в цилиндрических монокристаллах, электронные свойства сильно легированного Bi, особенности эффекта Шубникова—де-Гааза в тонких нитях. Рассмотрены некоторые специальные вопросы, относящиеся к теории структурного перехода примесей в слабовырожденных системах, к сверхпроводящим свойствам низкоразмерных образцов в критической области.

На основе физико-вероятностных представлений о флуктуациях физических величин, определяющих свойства фотонных и электронных ансамблей, анализируются принципы, определяющие работу полупроводниковых приемников излучения. Даны статистические основы фотоэлектроники: описаны характеристики случайных процессов, статистическая термодинамика электронов и фотонов, теория флуктуаций. Освещены физические свойства излучения (взаимодействие излучения с квантовыми системами, поглощение электромагнитного поля, оптические свойства материальных сред, классическая теория восприимчивости и т. д.). Изложена квантовая механика электронной системы (движение электронов в условиях пространственных ограничений, рассеяние на слабом потенциале, изменение состояния со временем). Описаны особенности полупроводниковых материалов (эффективная масса, локализованные состояния, электронный перенос). Значительное место отведено неравновесным электронным процессам. Обсуждаются особенности генерации и рекомбинации электронов и дырок в полупроводнике (в том числе генерация через экситонные состояния, внутренний фотоэффект, рекомбинация через донорно-акцепторные пары, прилипание неравновесных носителей), роль пространственной неоднородности (двойная инжекция, диффузия и дрейф оптической информации, спектральные характеристики фотопроводимости). Рассмотрен вопрос о пороге чувствительности и шумах, в частности принципиальные ограничения обнаружения, нелинейное преобразование шума, генерационно-рекомбинационный шум собственного полупроводника, шумы $1/f$.

Свечников Г. С. Интегральная оптика. Киев: Наукова думка, 1988. 166 с.

В изложенной популярно и предназначенной для широкого круга научных и инженерно-технических работников книге рассмотрены вопросы интегральной оптики (ИО). С точки зрения физики полупроводников интерес представляют главы, посвященные генерации света, приемникам излучения, а также связи ИО с микроэлектроникой. Описаны устройство и принцип работы инжекционного лазера, особенности ИО лазеров, лазеры с периодическими структурами обратной связи. Освещены принципы оптического детектирования с помощью фоторезисторов, $p-i-n$ -диодов, диодов с барьером Шоттки, лавинных фотодиодов и др. Анализируется вопрос о пределах чувствительности полупроводниковых фотоприемников и их надежности. Представлены типичные структуры фотоприемников. Даны основные ограничения интегральной микроэлектроники, обсуждаются возможности ИО в микроэлектронике (оптическая связь в СВИС, бистабильные оптические элементы), а также некоторые конкретные применения ИО в устройствах. Кроме того, в книге рассмотрены микроволноводы, фокусирующие элементы, электрооптические устройства.

Физика гидрогенизированного аморфного кремния. В. П. Электронные и колебательные свойства / Под ред. Дж. Джоунупулоса, Дж. Люковски. Пер. с англ. М.: Мир, 1988. 448 с.

Во второй книге, посвященной аморфному кремнию, написанной авторами из Великобритании, США и ФРГ, основное внимание концентрируется на проблемах физики. Представлен обзор современных теоретических подходов к анализу электронных состояний для аморфных структур и конкретно для α -Si. Описаны элементарные представления и модели, основанные на теории химической связи, а также результаты теоретических исследований в рамках реалистических методов. Приведены подробные экспериментальные данные о спектрах скопии электронных состояний в разрешенной и запрещенной зонах. Исследованы возможные оптические переходы; анализируются вопросы о положении и форме края фундаментального поглощения, о влиянии водорода и степени структурного беспорядка на форму края, о природе хвоста Урбаха и вкладе оборванных связей в поглощение при энергиях ниже

края поглощения. Освещены процессы переноса электронов в случайном потенциальном поле неупорядоченной структурной сетки, в частности аномалии знака эффекта Холла и поляронный эффект в «мягкой» аморфной структурной сетке. Обсуждаются новые, полученные с помощью современных экспериментальных методов данные о природе локальных уровней в запрещенной зоне собственного и легированного α -Si; отражены такие проблемы, как структура зонных хвостов, природа и распределение глубоких центров, специфика легирования и эффект самокомпенсации при легировании. Даны результаты исследований с разрешением по времени переноса заряда в гидрогенизированном α -Si (с помощью измерения нестаационарной фотопроводимости). Изложен механизм дисперсионного переноса путем многократного захвата. Рассмотрены колебательные свойства аморфных сплавов, в том числе двойных и тройных сплавов на основе α -Si.

Кроткус А., Добровольские З. Электропроводность узкощелевых полупроводников. Электроны в полупроводниках. Т. 7. Вильнюс: Мокслас, 1988. 174 с.

Книга посвящена явлениям электропереноса в полупроводниках с малой шириной запрещенной зоны. Изложены основные физические свойства узкощелевых полупроводников (УЩП): описаны кристаллическая и зонная структуры, характер перекрытия волновых функций, влияние давления, а также особенности процессов рассеяния. Подробно анализируется электропроводность в слабых полях (как концентрация носителей, так и их подвижность) применительно к конкретным материалам: InSb, Te, PbTe и $Pb_{1-x}Sn_xTe$, $Cd_xHg_{1-x}Te$; даны принципы расчета электропроводности. Освещены экспериментальные методы исследования, в том числе методы, основанные на использовании сверхкоротких электрических импульсов; описаны способы генерации и регистрации таких импульсов, позволяющие изучать электрические характеристики в нано- и пикосекундном диапазоне. Значительное место отведено явлениям в сильных полях: эффектам горячих электронов, ударной ионизации, отрицательному дифференциальному сопротивлению (ОДС). Обсуждаются простые аналитические модели ударной ионизации и ОДС. Представлены результаты исследования таких явлений в InSb, а также в других УЩП (InAs, $Ga_xIn_{1-x}Sb$, Te и др.). Рассмотрены эффект Ганна, ОДС и высокочастотные неустойчивости в магнитных полях.

Карлов Н. В. Лекции по квантовой электронике. М.: Наука, 1988. 336 с.

В учебном пособии для студентов вузов, содержащем лекции, прочитанные автором в МФТИ, с точки зрения физики полупроводников интерес представляет одна глава, посвященная полупроводниковым лазерам (ПЛ). Представлены отличительные особенности ПЛ, описаны рекомбинационные процессы (описаны рекомбинационное свечение, условие инверсии, безызлучательная рекомбинация, внутренний квантовый выход и т. д.). Освещены диодные инжекционные лазеры, распределение носителей и зонная структура в кристалле с p - n -переходом, инверсия при инжекции носителей в p - n -переход вырожденного полупроводника. Анализируются вопросы о КПД и мощности ПЛ, о диапазоне волн излучения и перестройке частоты. Обсуждаются ПЛ на гетероструктурах. Кроме того, в книге рассмотрены общие основы физики лазеров, газовые и химические лазеры, лазеры на красителях и т. д.

В книге обобщаются результаты исследований, выполненных к настоящему времени в области легирования поверхности полупроводников металлами. Даны общие сведения о поверхности полупроводника, о методах ее легирования и изучения. При этом описаны электронные явления, обусловленные поверхностью, область пространственного заряда, неравновесные процессы на поверхности полупроводника, различные состояния поверхности (атомарно чистая и реальная поверхность, контакт с жидкой и твердой фазами), введение примесей из пучка в вакууме, ионная имплантация, адсорбция из жидких растворов и т. д. Освещены физические свойства поверхностей, легированных металлами из атомного пучка в вакууме, а также имплантированных ионами металлов (в том числе влияние отжига). Изучены структурно-морфологические превращения на поверхности, поверхностный потенциал и спектр электронных состояний при легировании металлами из растворов. Анализируются рекомбинационные процессы на таких поверхностях. Представлен примесный инфракрасный фотоэффект на легированной металлами поверхности в случае конкретных материалов: примесная ИК проводимость легированной Au поверхности Si, примесная ИК фотоэкс легированной Ag и Cu поверхности Si, спектральная зависимость ИК фотопроводимости и ИК фотоэкс и др. Обсуждается релаксация неравновесного обеднения основными носителями заряда на легированной металлами поверхности Si. Изложена физика легированной металлами границы раздела электролит—полупроводник (применительно к ситуации Si и Ge). Рассмотрены физические характеристики легированных металлами границ раздела металл—диэлектрик—полупроводник, способы такого легирования. Показано, что легирование металлами является перспективным методом для управления свойствами систем, используемых в полупроводниковой электронике.

Сугано Т., Икома Т., Такэиси Е. Введение в микроэлектронику / Пер. с японск. под ред. В. Г. Ржанова. М.: Мир, 1988. 320 с.

Первый том одиннадцатитомной серии написан ведущими японскими специалистами и посвящен различным вопросам микроэлектроники. Освещено современное состояние микроэлектроники, перспективы ее развития, а также состояние соответствующей технологии. Даны общие сведения об электронных свойствах полупроводников (структуре кристаллической решетки и энергетических зонах, о механизмах протекания тока, генерации и рекомбинации носителей, явлениях в сильных полях, основных уравнениях, описывающих работу приборов). Представлены важнейшие полупроводниковые приборы (контакт металл—полупроводник и $p-n$ -переход, биполярные и МОП транзисторы, полевые транзисторы с затвором Шоттки). Подробно изложена технология изготовления приборов и интегральных схем. Изучаются основные технологические этапы изготовления ИС; рассмотрены свойства монокристаллов Si, дефекты монокристаллов и геттерирование примесей, эпитаксия, свойства оксидных пленок, метод химического осаждения из газовой фазы, легирование (в том числе диффузия и ионная имплантация), литография, травление, электрическая разводка и т. д. Анализируются основные структуры ИС, в частности биполярных ИС, смешанных монокристаллических ИС на биполярных и МОП структурах, МОП—СВИС и др. Специальная глава посвящена ИС на полупроводниках $A^{III}B^V$ и на элементах Джозефсона.