

537.311.33(049.3)

ЛЕКЦИИ ПО УЗКОЩЕЛЕВЫМ ПОЛУПРОВОДНИКАМ

Narrow Gap Semiconductors. Physics and Applications: Proceedings. Nimes, 1979/Ed. W. Zawadzki. — Berlin; Heidelberg; New York: Springer-Verlag, 1980. — 572 p. — (Lecture Notes in Physics. V. 133).

Труды Международной летней школы, проведенной в Ниме (Франция) в сентябре 1979 г. «Физика и применение узкощелевых полупроводников», опубликованные в 1980 г. в 133 томе серии «Записи лекций по физике» издательством Шпрингер под редакцией В. Завадского, состоят из тридцати лекций специалистов разных стран и содержат обзоры современного состояния физики узкощелевых полупроводников.

Узкощелевые полупроводники занимают промежуточное положение между классическими полупроводниками типа кремния или германия и металлами, обладая крайне малой (меньше 0,5 эВ), а иногда и нулевой, шириной запрещенной зоны. Это обстоятельство вызывает повышенный интерес к данному классу полупроводников, так как узость запрещенной зоны позволяет использовать их в оптической технике инфракрасного (ИК) диапазона в качестве приемников и источников (лазеров) ИК излучения. Надо еще заметить, что исследование свойств узкощелевых полупроводников имеет и самостоятельный интерес, с точки зрения физики твердого тела. Малость запрещенной зоны в этих полупроводниках приводит, во-первых, к аномально большой чувствительности их свойств к внешним воздействиям (магнитному полю, давлению и т. п.); во-вторых, к невозможности использовать стандартное однозонное приближение для теоретического описания свойств узкощелевых полупроводников (слишком велики эффекты перемешивания электронных состояний близких зон — валентных зон и зоны проводимости).

Содержащиеся в трудах Летней школы лекции можно условно сгруппировать по их тематике следующим образом:

1. Общие вопросы.
2. Диэлектрическая и магнитная проницаемость узкощелевых полупроводников.
3. Явления переноса.
4. Магнитооптические явления.
5. Нелинейные эффекты.
6. Фазовые переходы в полупроводниках типа A^3B^5 .
7. Дефекты и примеси в узкощелевых полупроводниках.
8. Поверхность.
9. Новые узкощелевые полупроводники.
10. Рост кристаллов узкощелевых полупроводников.

Уже само это перечисление тем, обсужденных на Летней школе в Ниме, показывает, что основное внимание на ней уделено физике узкощелевых полупроводников. Технологической стороне целиком посвящена лишь одна лекция Руаера (10), хотя некоторые технологические и прикладные аспекты обсуждаются в лекциях Есаки (9) и Коха (8). Лекцию Есаки следует выделить особо. В ней рассматриваются физические свойства сверхрешеток, полученных путем последовательного чередования тонких ($\sim 100 \text{ \AA}$) слоев двух различных полупроводников InSb и GaSb. В результате удается получить периодическую одномерную структуру, движение электрона в которой

квантовано «минизонами». В этом смысле такая структура может рассматриваться как узкощелевой полупроводник. В этом «полупроводнике» наблюдаются своеобразные осцилляции Шубникова—де Гааза и фазовые переходы полупроводник — полуметалл.

Физическим свойствам новых узкощелевых материалов посвящены лекции Блома (9) и Галазки и Коссута (9). В первой описаны свойства соединения Cd_3As_2 с весьма сложной кристаллической структурой (пространственная группа S_{6h}^{12} и 160 атомов на элементарную ячейку). Во второй содержатся результаты исследований так называемых полумагнитных полупроводников. Эти соединения со структурой цинковой обманки, содержащие в своем составе магнитные ионы (типа $Hg_{1-x}Mn_xTe$ или $Cd_{1-x}Mn_xTe$, $x < 20\%$), являются парамагнетиками. Из-за наличия магнитных ионов свойства этих соединений сильнее всего зависят от внешних магнитных полей. В частности, в них наблюдается весьма своеобразное явление — термические осцилляции. Этот эффект подобен осцилляциям Шубникова — де Гааза, но роль магнитного поля в нем играет температура. Эффект связан с тем, что эффективное магнитное поле, действующее на носители, зависит (как и парамагнитная восприимчивость) от температуры.

В остальных лекциях содержится описание физических свойств более традиционных узкощелевых полупроводников ($InSb$, $Cd_{1-x}Hg_xTe$ — структура цинковой обманки, $Pb_{1-x}Sn_xTe$ — структура $NaCl$). Перечислим некоторые из затронутых там вопросов. В лекции Лью (2) рассмотрено особое поведение статической диэлектрической проницаемости для полупроводников с нулевой шириной запрещенной зоны. В лекции Фальковского (2) обсуждается аномальное поведение магнитной восприимчивости (рост диамагнетизма при захлопывании запрещенной зоны). В нескольких лекциях (4) очень подробно описаны магнитооптические явления в узкозонных полупроводниках типа $InSb$ (Завадский, Риго) и типа A^4V^6 (Бауэр) при внутризонных и межзонных переходах. В лекциях, посвященных нелинейным явлениям (5), Пиджон и Эндерлейн рассматривали эффекты комбинационного рассеяния, Пикус и Ивченко — фотогальванические эффекты в нецентрально-симметричных полупроводниках, а Гельмонт — проблему горячих электронов. В лекциях о транспортных явлениях (3) обсуждаются магнитоосцилляционные явления, магнитосопротивление, проводимость и эффект Холла в узкощелевых полупроводниках.

Во всех этих разделах (2, 3, 4, 5) состояние теории и эксперимента представляется вполне удовлетворительным. Гораздо хуже обстоит дело с проблемой глубоких и резонансных уровней в узкощелевых полупроводниках (7). Лекции Цицильковского, Бастарда и Хейнрихе явно отражают недостаточность обсуждаемых там теорий, не способных, например, предсказать легирующее действие различных примесей. Лекция Кавамуры (6) создает впечатление полного благополучия в теоретическом описании фазовых переходов в соединениях A^4V^6 , что не соответствует действительности. Обсуждаемые в лекции Кавамуры теории содержат слишком много феноменологических параметров и не способны объяснить даже тип возникающих при фазовом переходе структур. Что касается свойств поверхности и инверсионных слоев (8), то лекции Ландвера и Коха показывают, что эти исследования только начинаются.

Итак, можно сказать, что, в основном, лекции правильно отражают состояние физики узкощелевых полупроводников на 1979 г., тем более, что все они сопровождаемы обширной библиографией.

Б. А. Волков