

синглетных и триплетных состояний в некоторых циклических углеводородах и др.

В части шестой (биологические системы) содержится 13 работ биофизического и биохимического характера. Среди них — применение резонансного комбинационного рассеяния света для изучения реакций в неравновесных инзимах, кинетики бактериородапсина и роли воды в бактериородапсине и изучение релаксационных процессов в биологических средах, применение спектроскопии временного разрешения к изучению фотобиологических систем и другие работы.

Наконец, часть седьмая (теоретический аспект) содержит интерпретации полученных результатов и новые теории.

Новое направление в оптике — спектроскопия быстропротекающих процессов — уже принесло много интересных и важных результатов, не доступных прежним способам исследования газов, растворов, жидкостей и твердых тел, и, несомненно, развитие этой области даст еще много значительного.

И. А. Фабелинский

539:184(049.3)

ОПТИЧЕСКАЯ ОРИЕНТАЦИЯ

Optical Orientation/Eds F. Meier, B. P. Zakharchenya. — Amsterdam; Oxford; New York; Tokyo: North-Holland, 1984. — 523 p. — (Modern Problems in Condensed Matter Sciences. V. 8/Series Eds V. M. Agronovich, A. A. Maradudin).

Краткость и выразительность названия очередного тома серии «Современные проблемы физики конденсированных сред», издаваемой международной редколлекцией в Нидерландах, уравнивает его очевидную незаконченность: напрашивается вопрос — что ориентируется? Когда эта тема впервые появилась в научной литературе в самом начале 50-х годов, слова «оптическая ориентация» употреблялись исключительно с дополнением «атомов» (ООА). С точки зрения физической стороны явления открытие ООА могло состояться на четверть века раньше — в 30-е годы. По существу, обнаруженный в начале века эффект поляризации резонансной флуоресценции атомов мог быть интерпретирован как ориентация светом возбужденных атомов, а открытый в 1924 г. эффект Ханле (деполяризация флуоресценции в магнитном поле) представлял собой частный случай магнитного резонанса — в инициирующем резонанс поле нулевой частоты — и, одновременно, частный случай явления пересечения уровней! Однако это стало ясно много позже, в 60-е годы, когда параллельно работам по ООА начались исследования когерентности атомных состояний, и оба эти направления, слившись, образовали обширнейший исследовательский «Клондайк». Открытый работами А. Кастлера и Ж. Бросселя, он быстро вышел за границы Франции и за десяток лет принес сотни публикаций из многих стран мира. Популярности этих исследований способствовала предельная простота экспериментов, восходивших к технике Р. Вуда, и наглядность результатов, великолепно иллюстрировавших основы квантовой механики.

Если говорить о главной заслуге первооткрывателя ООА А. Кастлера, то она состоит, вероятно, во внедрении в сознание физиков идеи обмена моментом импульса между атомами и циркулярно поляризованным светом. Очевидная широта этой идеи толкала исследователей на приск путей перенесения техники ООА на твердое тело. Удалось это, однако, не сразу. Первые успехи в этом направлении были достигнуты в начале 60-х годов при использовании в качестве объектов исследования примесных диэлектрических кристаллов, однако наиболее значительный всплеск активности был инициирован работой Ж. Лампеля, осуществившего в 1968 г. ориентацию ядер крем-

ния длительным облучением кристалла светом круговой поляризации. После нескольких лет латентного периода открылся новый этап «золотой лихорадки», плоды которого впервые в концентрированном виде изданы в монографии «Оптическая ориентация», под редакцией Б. П. Захарчени (Ленинград) и Ф. Мейера (Цюрих).

Что же ориентирует свет, взаимодействующий с твердым телом? Электроны проводимости полупроводника, дырки валентной зоны, локальные парамагнитные центры, ядра решетки и примеси, экситоны, электроны, фотоэмиттированные из полупроводника. Обширность этого списка объясняет усеченность названия книги.

В заключение этого экскурса заметим, что в отличие от ООА оптическая ориентация в твердых телах едва ли могла оформиться в сколько-нибудь полноценное направление раньше 60-х годов, так как нуждалась в развитой теории твердого тела, в сверхчистых материалах, во всем современном арсенале исследований, включая лазерную технику.

В соответствии с традициями серии, восьмой том подготовлен многонациональным коллективом авторов, ведущих специалистов этой области физики твердого тела. Состав авторского коллектива отражает значительный вклад в эту проблему советской физики — половина материалов представлена сотрудниками Физико-технического института им. А. Ф. Иоффе АН СССР) ЛФТИ (за эти работы в 1977 г. была присуждена Государственная премия СССР). Вторую половину книги составляют статьи, написанные физиками Франции, ФРГ, Швейцарии и США.

Сборник содержит одиннадцать обзорных статей, из которых семь излагают результаты исследований оптической ориентации электронов, ядер и экситонов в полупроводниках, а три других посвящены эффекту ориентации фотоэмиттированных электронов и созданию на его основе источников поляризованных электронов.

Открывающая сборник статья (Б. П. Захарченя и В. И. Перель) играет роль развернутого введения к первой группе статей. Авторы дают краткий обзор основных идей и явлений оптической ориентации электронов и ядер в полупроводниках. Излагается основная концепция кастлеровской оптической накачки — создание разности населенностей между квазивыврожденными энергетическими состояниями за счет анизотропного оптического возбуждения с последующей регистрацией возникающей при этом анизотропии оптических свойств вещества. После краткого обзора истории ООА авторы переходят к изложению не имеющих аналогов в ООА особенностей процессов оптической ориентации в полупроводниках, основываясь, главным образом, на исследованиях, проведенных в ЛФТИ.

Сходство процессов ориентации атомов и полупроводников быстро исчерпывается при переходе к ориентации ядерной подсистемы полупроводника, взаимодействующей с ориентированными электронами. Ввиду высокой плотности ядер и больших размеров области делокализации электрона (как свободного, так и связанного на примеси) ядерное магнитное поле оказывается большим, а его взаимодействие с электроном — весьма эффективным. В результате возникает своеобразная обратная связь: ориентация электронов приводит к динамической ориентации ядер, которые своим магнитным полем воздействуют на электроны. Поведение системы в целом оказывается чрезвычайно чувствительным к величине внешнего магнитного поля и к его направлению по отношению к вектору поляризации света и к кристаллографическим осям образца. Подробному теоретическому и экспериментальному исследованию ориентации спинов электронов и ядер и их взаимодействию посвящены три главы сборника. Одна из них является обзором теории оптической ориентации в полупроводниках. В ней изложена связь зонной структуры полупроводника со спектром действия ориентирующего излучения, рассмотрены вопросы релаксации электронов в зоне проводимости и дырок в валентной зоне, влияния на процессы ориентации деформации кристалла.

Описан эффект Ханле в полупроводниках, его применение для исследования релаксации неравновесных носителей и его особенности, связанные с динамической поляризацией ядер. Значительное внимание уделено оптическим проявлениям ориентации ядер, в частности, регистрации ядерного магнитного резонанса по степени поляризации рекомбинационного излучения.

Отдельная глава посвящена нелинейным процессам взаимодействия электронной и ядерной подсистем полупроводника. В ней описано множество новых удивительных эффектов, обнаруженных и интерпретированных авторами (Флейшер и Меркулов), — сложная структура эффекта Ханле в кристаллах GaAs и его особенности в наклонных полях, эффекты анизотропии оптической ориентации в кубических кристаллах, эффекты бистабильности и стохастизации кооперативного движения спинов в связанной электронно-ядерной системе.

Ряд глав сборника посвящен описанию исследований ориентированных электронов зоны проводимости. Оптическая методика не только позволила ориентировать электроны в кинематическом смысле слова, но и предоставила уникальную возможность измерения скорости релаксации спина и импульса электрона вплоть до времен пикосекундного масштаба. Расширение методических возможностей обусловило рост внимания к релаксационным процессам, что привело к обнаружению нескольких новых механизмов релаксации. В ходе исследований, наряду с циркулярно-поляризованной люминесценцией, выявляющей «полярную» ориентацию спинов электронов, была обнаружена и линейная поляризация, успешно интерпретированная в рамках модели выстраивания электронных моментов. Отдельные главы сборника посвящены проблеме оптической регистрации парамагнитного резонанса электронов проводимости, а также явлению оптической ориентации экситонов, впервые обнаруженному в работах группы из ЛФТИ, возглавляемой «отцом экситона» Е. Ф. Гроссом.

К работам по оптической ориентации носителей заряда и возбуждений в полупроводниках тесно примыкают работы с иной методической спецификой и иными задачами — исследования фотоэмиссии оптически ориентированных электронов с поверхности твердых тел. Пионерская работа в этой области была выполнена Д. Т. Пирсом и Ф. Мейером в 1976 г. на легированном цезием кристалле GaAs. Открытое явление имело двойную ценность — как дополнительное средство исследования зонной структуры твердого тела и как новый эффективный метод получения поляризованных электронов.

В сборнике обстоятельно обсуждена физика процесса поляризации фотоэлектронов и связь его со структурой зон и с симметрией кристаллов. Одна из статей посвящена обзору работ по источникам поляризованных электронов и их применению. Описаны источники на основе GaAs со степенью поляризации электронов до 50 % и рассмотрены применения поляризованных электронов в экспериментах по изучению спин-зависящих взаимодействий в физике электрон-атомных столкновений, для исследования свойств поверхности ферромагнетиков, в физике высоких энергий. В частности, источник на GaAs применялся в историческом эксперименте по обнаружению нарушающих четность слабых взаимодействий нейтральных токов при неупругом рассеянии ультрарелятивистских поляризованных электронов на жидком дейтерии. Этот эксперимент, как известно, подтвердил объединенную теорию электрослабого взаимодействия (как, впрочем, и другой эксперимент, законченный двумя месяцами раньше в Новосибирске, где измерялась естественная оптическая активность паров висмута).

Таким образом, в очередном восьмом томе серии представлен новый, чрезвычайно плодотворно и динамично развивающийся раздел физики полупроводников. Книга представляет собой не столько итог работ в русле указанного направления, сколько репортаж с переднего края от непосредственных участников кампании. Такой стиль книги определяет и некоторые ее недостатки. Отсутствие монографического единства тома проявилось в доволь-

но многочисленных пересечениях статей и повторах, при том, что многие важные стороны исследований в этой области не попали в сборник. Так, лишь упомянутым (хотя и трижды) оказался интересный цикл работ, проведенных в ЛФТИ, по изучению статических и динамических характеристик процесса оптической ориентации ядер кремния в зависимости от концентрации и типа примесей в кристалле. Эти исследования открыли новый метод изучения спиновой диффузии и примесного состава полупроводников. Тем не менее на настоящий момент сборник представляет собой уникальную по обстоятельности и широте охвата монографию по физике процессов оптической ориентации частиц и квазичастиц в полупроводниковых кристаллах и, несомненно, мог бы служить настольной книгой для многих специалистов по физике полупроводников и оптике твердого тела.

Е. Б. Александров, В. С. Запасский