

Halbleiterprobleme, Band V. Herausgegeben] von Prof. Dr. Fritz Sauter, 343 S. Friedr. Vieweg und Sohn, Braunschweig, 1960.

Многие из советских физиков, химиков и других специалистов, занятых исследованиями в области полупроводников и полупроводниковой техники, знакомы с фундаментальными сборниками «Halbleiterprobleme» (Проблема полупроводников), содержащими обзорные статьи главным образом немецких ведущих ученых.

Каждый из томов этого сборника, в том числе и рецензируемый, содержит несколько обзоров и статей, сильно различающихся по содержанию — от электронной теории кристаллов до синтеза и методов выращивания совершенных кристаллов новых полупроводниковых материалов.

Однако эти на первый взгляд случайно соединенные в одной книге статьи сближает главное: их актуальность, иными словами — научная «злободневность» в хорошем смысле слова.

Для того чтобы убедиться в этом, обратимся к содержанию 5-го тома. Мы находим здесь обзоры, посвященные новым принципам генерации и усиления микроволн с использованием полупроводников («мазеры»); современные данные эксперимента и теории об инфракрасных спектрах поглощения и излучения полупроводников; обзор физико-химических свойств и методов синтеза новых интерметаллических полупроводников.

Перед тем как переходить к более подробному обсуждению содержания отдельных статей, отметим, что в подавляющем большинстве обзоров, включаемые в сборник «Проблема полупроводников», носят характер оригинальных сообщений и составлены авторами, интенсивно работающими в настоящее время. По нашему мнению, работы немецких физиков в ряде областей, связанных с полупроводниками, выполнены на более высоком уровне, чем аналогичные английские или американские работы, с которыми по необоснованной «традиции» в первую очередь знакомятся многие из советских специалистов.

Первая из статей, включенных в 5-й том, посвящена новейшим достижениям в области инфракрасной спектроскопии твердых тел. Автором ее является д-р Яуманн. В статье изложены основные результаты «оптических» экспериментов (включая сюда и наблюдения диамантинного, или циклотронного резонанса), послужившие основой для определения зонной структуры таких полупроводников, как германий и кремний. В сжатой, но четкой форме изложены результаты исследования электронного спектра полупроводников и тонкой структуры спектров рекомбинационного излучения, т. е. инфракрасной люминесценции. Как известно, на основании этих данных Хейнсом определены энергии фононов и точное значение энергии оптической ионизации германия и кремния. Приведены последние результаты о расщеплении края основной полосы поглощения в сильном магнитном поле (уровни Ландау). Как известно, исследование этого явления позволило определить ширину запрещенной полосы, соответствующую прямым (вертикальным) электронным переходам для Ge, InSb и InAs. Далее рассматриваются процессы поглощения «свободными» носителями тока, кристаллической решеткой и атомами примесей. Статья заканчивается изложением основных результатов исследования инфракрасной люминесценции полупроводников, о чем уже

упоминалось выше. По своему содержанию обзор Яуманна до некоторой степени повторяет опубликованную в 1958 г. в УФН работу Фэна «Инфракрасное поглощение в полупроводниках»¹, существенно дополняя ее новыми результатами.

Вторая статья, написанная О. Фольбертом (ФРГ, лаборатория Сименс) представляет собой обзор физико-химических свойств интерметаллических полупроводниковых соединений. В настоящее время стало совершенно очевидным, что исследовательская работа по синтезу и получению совершенных монокристаллов этих веществ приведет к радикальному расширению круга полупроводников с заданными, особенно ценными для практического применения свойствами. Примерами таких веществ, уже нашедших себе широкое применение, являются антимонид индия InSb и арсенид галлия GaAs . Обзор Фольберта, работающего в одной из ведущих лабораторий в этой области, по нашему мнению, существенно дополняет материалы, содержащиеся в недавно изданном в СССР сборнике переводов статей по интерметаллидам².

Фольберт придерживается следующей схемы изложения: характеристика свойств; диаграмма состояний; метод синтеза и выращивания монокристаллов; степень достигнутой чистоты; сведения о диффузии примесей и возможности создания $P-N$ -переходов, где, возможно, сообщаются также данные о поверхностных явлениях и получении тонких слоев полупроводника.

Основной целью обзора Фольберта, по замыслу автора, была систематика всего семейства интерметаллических соединений и изложение физико-химических основ их синтеза и выращивания кристаллов. По нашему мнению, истинное содержание обзора значительно шире. Обзор заканчивается обширным списком литературы (по 1958 г.), которая может быть использована для более подробного ознакомления с отдельными работами.

В работе Г. Кремера «Отрицательные эффективные массы в полупроводниках» подробно рассмотрен известный метод описания движения электронов в кристалле, представляющий собою обобщение закона Ньютона путем формального введения тензора «эффективной массы». Эта работа представляет интерес для экспериментаторов, использующих результаты теоретических работ, посвященных детальному рассмотрению зонной структуры таких кристаллов, как германий или кремний, благодаря четкому изложению современных данных теории. В заключительной части статьи рассматривается возможность создания условий в полупроводнике, при которых может быть осуществлено усиление или генерация микроволновых колебаний путем передачи энергии внешнего источника электронам, имеющим «отрицательную эффективную массу». В наше время понятия «отрицательного сопротивления», «отрицательной температуры», и, в данном случае, «отрицательной массы», введение которых, разумеется, вряд ли можно приветствовать с терминологической или философской точек зрения, получили довольно широкое распространение в радиофизике и, как мы видим, проникают и в физику твердого тела. Разумеется в действительности во всех этих трех случаях нет ни сопротивления, ни температуры, ни массы, а есть лишь формальные аналогии с хорошо известными выражениями классической физики.

Возвращаясь к работе Кремера, следует указать на то, что в экспериментах, проведенных недавно Дусманисом с помощью методики, принятой для наблюдения диамагнитного резонанса в магнитном поле при низких температурах, в кристаллах германия был обнаружен «излучательный» резонанс, соответствовавший, с точки зрения формального описания, «поглощению» микроволн частицами с «отрицательной массой». Нам кажется, что явления, исследовавшиеся теоретически Кремером, в случае, если результаты опытов Дусманиса подтвердятся окончательно, представляют несомненный интерес как одно из возможных направлений в квантовой радиофизике.

Следующая далее статья О. Маделунга посвящена подробному рассмотрению физических явлений, протекающих в полупроводниках, помещенных в очень сильное магнитное поле. Основными вопросами, рассмотренными автором, являются влияние магнитного поля на зонную структуру кристаллов (в частности, появление «уровней Ландау», о которых уже упоминалось выше); влияние поля на рассеяние носителей и особенности гальваномагнитных эффектов в сильном поле. В качестве отдельного раздела выделены новейшие результаты исследования магнетооптических эффектов в полупроводниках. Следует заметить, что в этой области эксперимента за последние годы ряд важных работ был выполнен в Линкольновской лаборатории (Кембридж, США); изложение результатов работ этой лаборатории занимает значительную часть обзора.

Статья Х. Шмидта посвящена подробному рассмотрению теории поглощения инфракрасного излучения полупроводниками. Несмотря на то, что этот вопрос уже рассматривался во многих работах, в том числе в уже упоминавшемся ранее обзоре Фэна¹, а также в монографии Мосса «Оптические свойства полупроводников», которая вскоре выйдет в русском переводе³, читатель, в особенности теоретик, найдет в работе Шмидта много интересного.

Обзор Д. Гейста «Мазер» содержит сведения о теории и ряд экспериментальных данных о квантовых системах, используемых для усиления микроволн. Следует напомнить, что совсем недавно обзор на аналогичную тему, авторами которого являются

Н. Г. Басов, О. Н. Крохин и Ю. М. Попов, был опубликован в УФН 4. Работа Гейста содержит данные примерно до начала 1959 г. и, возможно, представит интерес для читателей, ознакомившихся с обзором советских авторов, содержащим ряд более новых результатов, в качестве дополнительной статьи с подробным списком литературы.

Работа К. Цюклера посвящена современному состоянию исследований одного из наиболее перспективных, но трудных для экспериментатора полупроводников — карбида кремния SiC. Трудности в получении монокристаллов связаны в основном с высокой температурой плавления (более 2750° С) и с химической активностью кремния и углерода. К сожалению, статья Цюклера написана в виде краткого конспекта и может быть лишь исходным материалом для ознакомления с вопросами получения и физическими свойствами одного из интереснейших полупроводников, с которым, как известно, связаны открытия усиления и генерации радиочастот полупроводниковыми кристаллами и электролюминесценции, сделанные в СССР О. Лосевым. Часть статьи Цюклера посвящена вопросам использования нелинейных сопротивлений из поликристаллического карбида кремния, давно примененных в технике.

Заключительная статья, правильнее, монография, авторами которой являются К. Хауффе и известный немецкий физик В. Шоттки, посвящена вопросу о возникновении и физико-химических свойствах пленок, появляющихся на поверхности металлов в результате окисления последних. На первый взгляд, тема работы лишь частично связана с физикой и химией полупроводников. В действительности же именно на примере этой работы особенно хорошо видно, насколько тесна связь и велико влияние физики полупроводников на смежные с ней области науки. Обширный материал, представленный в монографическом обзоре Хауффе и Шоттки, несомненно, представит интерес для очень широкого круга специалистов в нашей стране, занятых как изучением явлений на поверхности металлов и полупроводников, так и катализом, коррозией и другими процессами, относящимися скорее к физической химии.

Весьма вероятно, что за периодом получения, исследования и использования монокристаллов в физике и технике полупроводников последует «эпоха пленок», когда, особенно в полупроводниковой электронике и энергетике, пленки и системы слоев полупроводника, выращенные по заданной программе, заменят монокристаллические пластинки, с большими трудностями и потерями ценного материала вырезаемые для сегодняшних полупроводниковых приборов.

Нам кажется, что заключительная статья рецензируемого 5-го тома сборника «Проблема полупроводников» не потеряет своего значения в течение многих лет. Следует надеяться, что будет издан ее русский перевод.

В. С. Вавилов

ЛИТЕРАТУРА

1. Г. Фэн, УФН, 64, 316 (1958) (перевод обзора Н. Fan, Repts Progr. Phys. 19, 107 (1956)).
2. Сб. «Новые полупроводниковые материалы», М., ИЛ, 1960.
3. T. S. Moss, Optical properties of Semiconductors, Butterworth, 1959.
4. Н. Г. Басов, О. Н. Крохин, Ю. М. Попов, УФН 72, 161 (1960).