548.0 : 535

VI ВСЕСОЮЗНЫЙ СЕМИНАР «ЭКСИТОНЫ В КРИСТАЛЛАХ»

VI Всесоюзный семинар «Экситоны в кристаллах» состоялся 25—29 мая 1970 года в Институте физики твердого тела АН СССР в Черноголовке. Семинар был посвящен связанным и диссоциированным экситонным состояниям и был проведен в форме широкого обсуждения ряда заказанных обзорных докладов. В заседаниях семинара приняли участие около 150 человек из ведущих научно-исследовательских институтов Советского Союза.

Связанным экситонным состояниям в примесных полупроводниковых кристаллах были посвящены два обзорных доклада.

В докладе И. Б. Левинсона (ИТФ АН СССР им. Л. Д. Ландау, Черноголовка) рассмотрены теоретические представления о взаимодействии экситона с локальным центром, основанные на приближении эффективной массы. Основное внимание в обзоре уделено проблеме устойчивости слабо связанных экситонных комплексов квазимолекулярного типа на примере экситонов, локализованных вблизи нейтральных (ионизированных) акцепторных и донорных центров. Проанализирована существенная особенность спектроскопии слабо связанных экситонных комплексов в полупроводниках, состоящая в том, что силы осцилляторов оптических переходов в такие состояния аномально велики в кристаллах, где ближайшие экстремумы зон расположены в центре зоны Бриллюэна (оптические переходы прямые), и, наоборот, аномально малы в кристаллах, где оптические переходы непрямые.

В докладе В. Б. Тимофеева (ИФТТ АН СССР, Черноголовка) подробно рассмотрены спектроскопические и магнитоспектроскопические свойства экситонных комплексов в элементарных (Si, Ge) и бинарных ($A_{II}B_{VI}$, $A_{III}B_{V}$) полупроводниках. Проанализированы процессы излучательной рекомбинации через связанные экситонные состояния и сопоставлены эффективности (квантовый выход) излучательной рекомбинации экситонов, локализованных вблизи изоэнергетических примесей, донорных и акцепторных (нейтральных и ионизированных) центров, а также рекомбинационное излучение электронно-дырочных пар. Рассмотрены вопросы, связанные с оже-рекомбинацией локализованных экситонов в полупроводниках.

В обсуждении содержания этих докладов принял участие ряд участников семинара. В. И. Сугаков (Госуниверситет, Киев) обратил внимание на возможность экспериментального наблюдения аномально низких значений сил осцилляторов для оптических переходов в экситонных комплексах при определенных соотношениях между эффективными массами электрона и дырки, являющихся составной частью комплекса. Г. М. Бартенев (МГПИ им. В. И. Ленина, Москва) сделал сообщение о состояниях атома позитрония в ионных кристаллах. И. С. Горбань (Госуниверситет, Киев) доложил о свойствах экситонных комплексов, обязанных связанным состояниям экситона с азотными центрами, в кристаллах карбида кремния.

Одно из внеплановых заседаний семинара было посвящено обсуждению сообщения С. А. Пермогорова (ИП АН СССР, Ленинград) о наблюдении поляритонных (свето-экситонных) состояний в сульфиде кадмия и экспериментальном методе, позволяющем исследовать дисперсию поляритонных ветвей в окрестности $\mathbf{k} = 0$. Метод основан на изучении комбинационного рассеяния поляритонов, для которых, как показал докладчик, сечения рассеяния оказываются чрезвычайно большими.

Связанным и диссоциированным состояниям френкелевских экситонов были посвящены три обзорных доклада. В докладе Э. И. Рашбы (ИТФ АН СССР им. Л. Д. Ландау, Черноголовка) «Теория связанных и диссоциированных экситонных состояний в молекулярных кристаллах» были рассмотрены два типа связанных состояний. Первые из них относятся к электронным возбуждениям и возникают при захвате экситона невозбужденной молекулой примеси. Связанные состояния второго типа соответствуют вибронным возбуждениям кристалла и возникают в результате взаимодействия экситона с фононом (одним или несколькими), отвечающим одному из внутримолекулярных колебаний молекул кристалла или примеси в нем. Связанные состояния обоих типов образуются в результате отщепления соответствующего спектра энергий от непрерывного спектра диссоциированных состояний. В первом случае таким диссоциированным состоянием является экситонная зона, а во втором — двухчастичные вибронные состояния.

В докладе рассмотрены условия отщепления спектров связанных состояний в зависимости от энергии связи экситона с примесной молекулой или фононом и от параметров непрерывных спектров.

Обзору экспериментальных исследований примесных молекулярных кристаллов был посвящен доклад В. Л. Броуде (ИФТТ АН СССР, Черноголовка). На примере анализа спектров поглощения и люминесценции изотопно-примесных кристаллов было показано, что такие основные характеристики примесных спектров, как-то: 1) положения, 2) интегральные интенсивности, 3) поляризационные отношения и 4) формы полос примесного поглощения — чрезвычайно резко зависят от энергии связи экситона на примесной молекуле и от параметров экситонных зон кристаллов-растворителей. Показано полное количественное согласие между экспериментальными и теоретически рассчитанными зависимостями.

Доклад Е. Ф. Шеки (ИФТТ АН СССР, Черноголовка) был посвящен обзору экспериментальных исследований вибронных состояний в молекулярных кристаллах. На примере анализа вибронных спектров поглощения ряда чистых и изотопно примесных кристаллов проиллюстрировано проявление связанных и диссоциированных вибронных возбуждений в спектрах поглощения и сделан количественный анализ основных характеристик полос связанного и диссоциированного поглощений. На основе независимого расчета в согласии с теорией, развиваемой Рашбой, показано, что существующая теория вибронных состояний хорошо описывает экспериментальные данные и указывает возможность независимого определения плотности состояний в экситонных зонах.

В обсуждении этих докладов приняли участие многие участники семинара. В. И. Сугаков (Госуниверситет, Киев), Н. И. Остапенко и М. Т. Шпак (ИФ АН УССР, Киев) выступили на тему о локальных экситонных состояниях, обусловленных наличием дефектных молекул растворителя в примесных кристаллах, и о их связи со структурой экситонных зон в кристаллах нафталина.

Три выступления относились к колебательным спектрам ароматических кристаллов. В. М. Агранович, Ю. Е. Лозовик и М. А. Мехтиев (Институт спектроскопии АН СССР, Красная Пахра, Московская обл.) обратили внимание на влияние ангармонизма на спектр локальных и поверхностных колебаний в молекулярных кристаллах. И. А. Коротков (Госуниверситет, Киев) остановился на вопросах экспериментального исследования экситонных состояний в спектрах комбинационного рассеяния. Г. Н. Жижин и М. А. Москалева (Институт спектроскопии АН СССР, Красная Пахра, Московская обл.) сообщили об измерениях концентрационной зависимости величины давыдовского расщепления в колебательном спектре кристаллического раствора тиофена-тиофена-d_2.

Большой интерес у слушателей вызвал доклад В. В. Еременко (ФТИНТ АН УССР, Харьков), посвященный обзору экспериментальных и теоретических исследований экситон-магнонных состояний в антиферромагнитных кристаллах. В преобладающем большинстве исследованных к настоящему времени кристаллов экситон-

магнонные спутники представляют собой сложные двухчастичные состояния. Связанные экситон-магнонные состояния, наряду с двухчастичными состояниями, наблюдены пока лишь в кристалле MnF_2. Главное внимание в обзоре было уделено связи формы полос, обязанных возбуждению экситон-магнонных состояний, со структурой экситонных и магнонных зон и о зависимости этой структуры от магнитных характеристик кристалла.

Специфический вид диссоциированных состояний, а именно, кооперативных экситонных и локальных состояний, был рассмотрен в докладах А. Ф. Прихотько (ИФ АН УССР, Киев) «Кооперативные состояния кристалла кислорода» и Е. Д. Трифонова (Университет им. А. А. Жданова, Ленинград) «Кооперативные состояния и кооперативная люминесценция неметаллических кристаллов». В дискуссии по этим докладам выступил В. А. Бендерский (ФИХФ АН СССР, Черноголовка) с сообщением о кинетических свойствах аннигилирующих синглетных экситонов в кристалле антрацена.

Отдельное заседание семинара было посвящено обсуждению коллективных эффектов в системе экситонов. Это заседание было открыто обзорным докладом С. В. Москаленко (ИПФ АН Молд. ССР) «Экспериментальные и теоретические исследования биэкситонов». Выдвинутая впервые автором идея о возможности образования экситонной молекулы при достаточно больших концентрациях экситонов нашла развитие в работах многих авторов. Предсказываемая ими новая структура в спектрах экситонного поглощения и люминесценции стимулировала ее поиски и обнаружения в спектрах ряда кристаллов, находящихся в условиях сильной оптической накачки.

Докладчик отметил также, что в системе плотного электронно-дырочного газа могут возникать и другие образования, например, капли. Не исключена возможность и бозе-эйнштейновской конденсации. На возможности образования различных связанных состояний в системе экситонов обратил главное внимание в своем выступлении Л. В. Келдыш (ФИАН СССР им. П. Н. Лебедева, Москва). Л. В. Келдыш отметил, что поскольку в ряде явлений и жидкие капли и биэкситоны могут проявлять себя одинаковым образом, для уверенной интерпретации наблюдаемых эффектов нужны дополнительные специальные эксперименты.

В дискуссии по затронутым вопросам приняли участие многие участники семинара. Е. Ф. Гросс (ФТИ им. А. Ф. Иоффе, Ленинград) совместно с Ф. И. Крейнгольдом сообщил о новом экспериментальном наблюдении свечения биэкситона в кристалле Cu_2O Спектр этого свечения представляет собой серию полос, подчиняющихся тем же сериальным закономерностям, что и «зеленая» серия экситона в поглощении Cu_2O.

Я. Е. Покровский с сотрудниками (ИРЭ АН СССР, Москва) сообщили ряд сведений, подтверждающих образование жидкости из экситонов в кристаллах кремния и германия и указывающих на очень важную роль примесей (в частности, примеси бора), служащих центрами конденсации капель. О. В. Гоголин, В. С. Багаев, Т. И. Галкина (ФИАН СССР им. П. Н. Лебедева, Москва) рассказали об излучении системы экситонов в кристалле германия при одноосном сжатии. Как показали авторы, избирательная чувствительность положения линий люминесценции из связанных состояний этой системы к величине и направлению приложенного напряжения свидетельствует об образовании и движении электронно-дырочных капель в этом кристалле. Выступление Э. Л. Нолле (ФИАН СССР им. П. Н. Лебедева, Москва) касалось вопросов взаимодействия между экситонами и обусловленного им вынужденного излучения теллурида кадмия. В заключение дискуссии Л. В. Келдыш отметил, что существующие эксперименты пока еще не дают четкого ответа о судьбе системы с большой плотностью экситонов. Одним из главных аргументов в пользу биэкситонов являются квадратичные зависимости в оптических спектрах. В то же время опыты по давлению, несомненно, свидетельствуют о существовании капель.

В заключение семинара на заседании Постоянного оргкомитета было принято решение провести следующее заседание семинара в г. Тарту, ЭССР, в июне 1971 г.

В. Б. Тимофеев, Е. Ф. Шева