

ПОЛЯРИЗАЦИЯ ЛЮМИНЕСЦЕНЦИИ БИЭКСИТОНОВ В ОДНООСНО ДЕФОРМИРОВАННОМ ГЕРМАНИИ

В. М. Аснин, Ю. Н. Ломасов, А. А. Рогочев

Обнаружено явление сильной линейной поляризации линии излучения $0,709 \text{ эв}$ в германии при слабой одноосной деформации. Этот факт подтверждает принадлежность этой линии биэкситонам.

Экспериментальные исследования свойств экситонов при большой их плотности в германии и кремнии показали, что при относительно малых концентрациях экситонная система представляет собой газ экситонных молекул, который при достаточно больших уровнях возбуждения конденсируется в жидкую фазу [1]. Существует, однако, другая точка зрения, согласно которой биэкситоны в этих полупроводниках не могут образовываться и линия излучения, приписываемая биэкситонам ($h\nu = 0,709 \text{ эв}$ в германии и $1,08 \text{ эв}$ в кремнии), в действительности принадлежит электронно-дырочному конденсату, существующему уже при очень малых концентрациях [2].

Для установления факта существования биэкситонов весьма полезным может оказаться исследование поляризации рекомбинационного излучения в этих полупроводниках при одноосной деформации.

Идея опытов, изложенных в настоящем сообщении, состоит в следующем. При достаточно низкой температуре большая часть экситонов и биэкситонов в одноосно деформированном кристалле будет находиться на наинижем уровне, возникшем при расщеплении основного состояния. Существенным является то, что величина расщепления, достаточная для такого перераспределения частиц, должна быть близкой к kT . Так как расщепленным уровням соответствует различная степень поляризации излучения [3 – 5], то факт преимущественного нахождения экситонов и биэкситонов на наинижем уровне может быть установлен путем исследования степени поляризации соответствующего рекомбинационного излучения в зависимости от направления и величины давления и температуры. В германии основным каналом излучательной рекомбинации является переход электронов через экстремум Γ с излучением продольного акустического фонона, поэтому, если бы основное состояние экситона было четырехкратно вырождено по моменту дырки, то смещение экстремумов зоны проводимости вследствие одноосного давления не приводило бы к поляризации экситонной люминесценции и она могла бы возникать только за счет расщепления валентной зоны. Однако, из-за анизотропии эффективной массы электронов основное состояние экситона расщеплено и существенная поляризация появляется уже при давлениях, когда расщепление валентной зоны много меньше начального расщепления экситонного состояния. Аналогичные соображения справедливы и для биэкситонов [5]. В отличие от биэкситонов поляризация люминесценции конденсированной фазы должна наблюдаться при давлениях, во много раз больших, когда расщепление валентной зоны будет сравнимо с энергией Ферми электронов и дырок, которая в десятки раз превышает kT при гелиевой температуре ¹⁾[2].

Для экспериментов использовались ориентированные образцы германия с полной концентрацией примесных центров около 10^{12} см^{-3} , которые помещались в оптический криостат с устройством для создания в образцах одноосного сжатия. Опыты проводились при малых ($\lesssim 10^{14} \text{ см}^{-3}$) и больших (до $5 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$) концентрациях неравновесных электронно-дырочных пар.

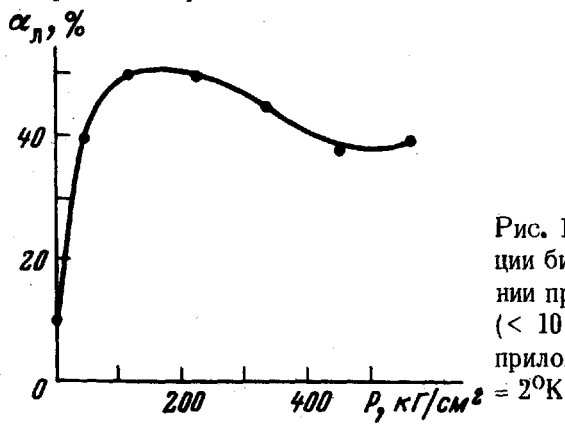


Рис. 1. Зависимость степени поляризации биэкситонного излучения в германии при малом уровне возбуждения ($< 10^{14} \text{ см}^{-3}$) от величины напряжения, приложенного в направлении $\langle 111 \rangle$, $T = 2^\circ\text{K}$

¹⁾ Согласно [2], концентрация электронно-дырочных пар в конденсированной фазе равна $2,6 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$, чему соответствует энергия Ферми приблизительно равная $5 \cdot 10^{-3} \text{ эв}$.

На рис. 1 показана полученная зависимость степени поляризации линии $0,709 \text{ эв}$ в германии от величины давления, приложенного в направлении $\langle 111 \rangle$ при $T = 1,8^\circ\text{К}$. Видно, что излучение становится сильно поляризованным уже при ничтожно малых напряжениях¹⁾. Поляризация достигает максимальной величины $\approx 50\%$ при давлении, равном всего лишь 100 кг/см^2 . Это свидетельствует о практически полном перераспределении частиц на наименьший уровень, получившийся в результате расщепления основного состояния в условиях, когда величина этого расщепления меньше 1 мэв [3]. При этом величина расщепления валентной зоны почти на порядок меньше, чем начальное расщепление основного состояния экситона, обусловленное анизотропией эффективной массы электрона [3]. Одновременно наблюдается сильная температурная зависимость степени поляризации излучения (рис. 2). При этом поляризация исчезает, когда kT становится больше ожидаемой величины расщепления основного состояния.

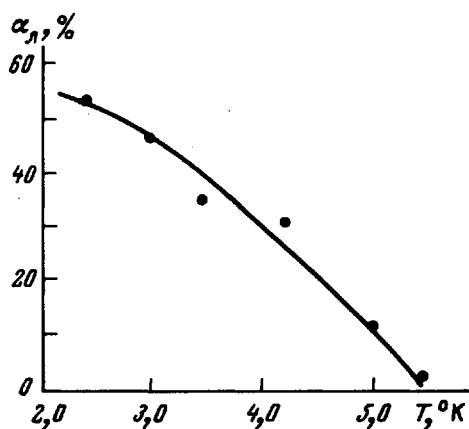


Рис. 2. Температурная зависимость степени поляризации биекситонного излучения, $P = 100 \text{ кг/см}^2$

В том же диапазоне изменения давления появляется сильная линейная поляризация экситонного излучения, нарастающая до величины $50 - 60\%$ при напряжениях, меньших 200 кг/см^2 . Направление поляризации было параллельно оси давления, что соответствует основному состоянию $J_z^h = 1/2$, т.е. $\Delta_c > 0$ [5].

Такое поведение поляризации люминесценции еще раз доказывает факт принадлежности линии $0,709 \text{ эв}$ экситонным молекулам при малых уровнях возбуждения. Для электронно-дырочного конденсата следовало бы ожидать ничтожно малой степени поляризации излучения при столь малой деформации кристалла.

В работах [1,6,7] показано, что конденсация биекситонного газа в германии происходит при концентрациях, близких к $5 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}$. Это

¹⁾ В ряде исследованных образцов наблюдалась сильная поляризация излучения при отсутствии внешней деформации. Это явление, по-видимому, вызвано натяжениями, существующими внутри кристалла. Эти натяжения однако столь малы, что практически не сказываются на положении линии излучения экситона, которая была смещена менее, чем на $0,25 \text{ мэв}$ в таких образцах.

согласуется с обнаруженным в данной работе уменьшением степени поляризации излучения при достижении таких уровней возбуждения. При концентрациях неравновесных электронно-дырочных пар больших, чем $2 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$, люминесценция оказалась почти полностью деполаризованной при давлениях, меньших 500 кГ/см^2 . Одновременно наблюдалось небольшое уширение линии $0,709 \text{ эв}$, которое, как было показано в работе [7], является следствием образования в образце конденсированной фазы.

Авторы благодарят С.М.Рывкина и В.И.Сафарова за интерес к работе, Г.Л.Бира и Г.Е.Пикуса за неоднократные полные обсуждения, способствовавшие постановке этой работы.

Физико-технический институт
им. А.Ф.Иоффе
Академии наук СССР

Поступила в редакцию
13 июня 1973 г.
После переработки
12 июля 1973 г.

Литература

- [1] А.А.Рогачев. Изв. АН СССР, сер. физ., 37, 229, 1973.
- [2] Я.Е.Покровский. Proc. XI Intern. Conf. on Physics of Semiconductors, Warsaw, 1972, p. 69.
- [3] I. Balslev. Phys. Rev., 143, 636, 1966.
- [4] Г.Л.Бир, Г.Е.Пикус. Симметрия и деформационные эффекты в полупроводниках. М., изд. Наука, 1972.
- [5] Г.Л.Бир, Г.Е.Пикус. Письма в ЖЭТФ, данный номер, стр. 245.
- [6] В.М.Аснин, А.А.Рогачев. Proc. III Intern. Conf. on Photoconductivity, Stanford University, 1969. p. 13.
- [7] В.М.Аснин, А.А.Рогачев, Н.И.Саблина. ФТТ, 14, 399, 1972.