

О СУЩЕСТВОВАНИИ БИЭКСИТОНОВ И ТРИОНОВ В ГЕРМАНИИ

А.Е.Жидков, Я.Е.Покровский

Исследована фотолуминесценция германия вблизи порога конденсации экситонов при температуре 2 — 5,2К, в том числе при одноосном сжатии и в присутствии электрического поля. Показано, что уширение длинноволнового края экситонной полосы, не связано с образованием состояний молекулярного типа.

Попытки обнаружить в германии коллективные состояния неравновесных носителей заряда молекулярного типа (биэкситоны, трионы) предпринимаются уже около десяти лет (см., например, [1]). В частности, в [2] уширение длинноволнового края полосы излучения свободных экситонов при 6,5К и высоком уровне возбуждения связывается с распадом трионов или биэкситонов. Образование молекулярных коллективных состояний возможно облегчить за счет одноосного сжатия германия в направлении (111), приводящего к уменьшению энергии связи электронно-дырочной жидкости (ЭДЖ) [3] и, следовательно, к возрастанию концентрации экситонов и свободных носителей заряда при неизменных уровне возбуждения и температуре. Здесь уместна аналогия с кремнием, в котором биэкситоны были обнаружены именно при одноосной деформации кристаллов [4]. Следует, однако, ожидать, что в отличие от кремния, полосы экситонного и молекулярного излучения в германии должны сильно перекрываться, поскольку энергия связи экситонов, определяющая сдвиг молекулярной полосы [5], в германии существенно меньше, чем в кремнии [1]. Попытка обнаружить молекулярное излучение в германии, сжатом в направлении (111) была предпринята Г.А.Томасом, В.Б.Тимофеевым и Я.Е.Покровским в 1977 г. в Гарвард-

ском университете (США), однако, им не удалось получить однозначные результаты. В настоящей работе более подробно исследовано влияние деформации, температуры, уровня возбуждения и электрического поля на фотолюминесценцию чистого германия вблизи порога конденсации экситонов.

Использовался образец германия размером $15 \times 2,5 \times 1,8 \text{ мм}^3$, вырезанный в направлении (111), который подвергался одноосному сжатию в гелиевой ванне с помощью устройства, описанного в [6]. Температура ванны регулировалась давлением паров гелия в интервале 2 – 5,2К (2,25 атм). Две узкие индиевые полоски, нанесенные на расстоянии 3,5 мм друг от друга на одну из граней образца перпендикулярно направлению (111), служили электродами, на которые можно было подавать постоянное напряжение. Для фотовозбуждения на поверхность образца фокусировалось модулированное излучение аргонового лазера в виде полоски размером $5 \times 0,2 \text{ мм}^2$, перекрывавшей межэлектродный промежуток.

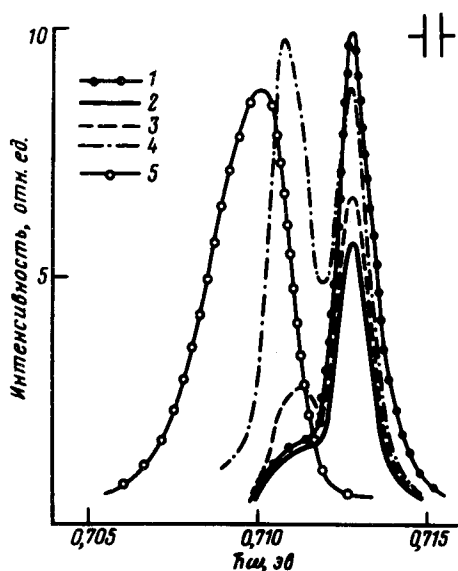


Рис. 1. Спектры излучения чистого германия при одноосном сжатии в направлении (111), давление 370 кГ/см^2 , мощность фотовозбуждения 90 мВт, температура, К: 1 – 4,2; 2 – 3,73; 4 – 2,71; 5 – 2

На рис. 1 приведены спектры излучения германия при одноосном сжатии, фиксированном уровне возбуждения и различных температурах. Из рисунка видно, что длинноволновое уширение полосы экситонного излучения, при высоких температурах сходное с приведенным в [2], с понижением температуры постепенно развивается в хорошо известную полосу излучения ЭДЖ [6]. Коротковолновый сдвиг полосы излучения ЭДЖ вблизи порога конденсации связан с уменьшением энергии капель малого размера из-за сильного влияния поверхности [7].

Следует ожидать, что одноосное сжатие германия приведет к понижению критической температуры конденсации вследствие уменьшения энергии связи ЭДЖ, в то время как энергия связи молекулярных состояний не должна существенно изменяться при деформации кристаллов [5]. Из рис. 2 видно, что в недеформированных кристаллах излучение ЭДЖ наблюдается как при 4,2, так и при 5,2К, в то время как одноосное сжатие полностью подавляет длинноволновое уширение экситонной полосы при 5,2К. Уширение не наблюдалось и при дальнейшем увеличе-

нии уровня возбуждения до 300 мВт. Отсюда можно заключить, что критическая температура для одноосно сжатого германия, по-видимому, ниже 5,2К. В то же время образование молекулярных состояний не должно иметь столь резкого порога, и исчезновение длинноволновой полосы при деформации или небольшом повышении температуры противоречит предположению о молекулярной природе этой полосы.

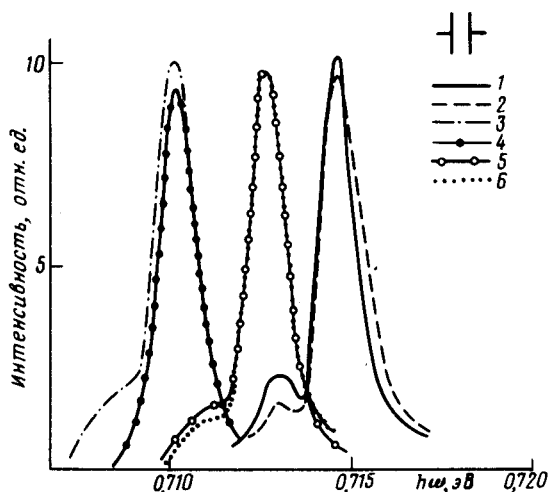


Рис. 2. Спектры излучения чистого германия при давлении P в направлении (111), мощности фотовозбуждения W , температуре T , напряжении U и токе I между контактами: 1 - $P=0$, $W=90$ мВт, $T=4,2$ К, $U=0$, $I=0$; 2 - $P=0$, $W=150$ мВт, $T=5,2$ К, $U=0$, $I=0$; 3 - $P=750$ кГ/см², $W=150$ мВт, $T=5,2$ К, $U=0$, $I=0$; 5 - $P=370$ кГ/см², $W=125$ мВт, $T=4,2$ К, $U=0$, $I=0$; 6 - $P=370$ кГ/см², $W=125$ мВт, $T=4,2$ К, $U=1,44$ В, $I=14$ мА

В недеформированном германии критическая температура оценивается как 5 - 8К [1]. Температура 6,5К, при которой были выполнены исследования в [2], по-видимому, лишь немного ниже критической. Поэтому в [2] образование ЭДЖ проявлялось лишь в уширении длинноволнового края экситонной полосы, поскольку вблизи критической температуры энергия связи ЭДЖ существенно уменьшается [1], что приводит к сильному перекрытию полос излучения экситонов и ЭДЖ.

Молекулярные состояния имеют весьма малую энергию связи [2], и поэтому ударная ионизация в электрическом поле должна в первую очередь приводить к разрушению биекситонов и трионов и исчезновению соответствующей полосы излучения. Однако, из рис. 2 видно, что в электрическом поле интенсивность как экситонного излучения, так и его уширенного длинноволнового края уменьшается приблизительно одинаково (на рис. 2 - в пять раз). Это также противоречит молекулярной природе длинноволнового уширения.

Таким образом, приведенные выше экспериментальные результаты указывают на тривиальную причину уширения длинноволнового края экситонной полосы излучения, а именно, на образование ЭДЖ вблизи критической температуры и находятся в противоречии с предположением о молекулярной природе этого уширения.

Авторы благодарны Г.А.Томасу и В.Б.Тимофееву за дискуссию, приведшую к постановке настоящей работы.

Литература

- [1] J.C.Hensel, T.G.Phillips, G.A.Thomas. Solid State Physics, 32, ed. H. Ehrenreich, F.Seitz, D.Turnbull. Ac. Press, NY, 1977.
- [2] G.A.Thomas, T.M.Rice. Solid State Comm., 23, 359, 1977.
- [3] В.С.Багаев, Т.И.Галкина, О.В.Поголин, Л.В.Келдыш. Письма в ЖЭТФ, 10, 304, 1969.
- [4] В.Д.Кулаковский, В.Б.Тимофеев. Письма в ЖЭТФ, 25, 487, 1977.
- [5] В.Д.Кулаковский, В.Б.Тимофеев, В.М.Эдельштейн. ЖЭТФ, 74, 372, 1978.
- [6] Я.Е.Покровский, К.И.Свистунова. ЖЭТФ, 68, 2323, 1975.
- [7] В.Etienne, C.Benoit a la Guillaume, M.Voos. Phys. Rev. Lett., 35, 536, 1975.
-