

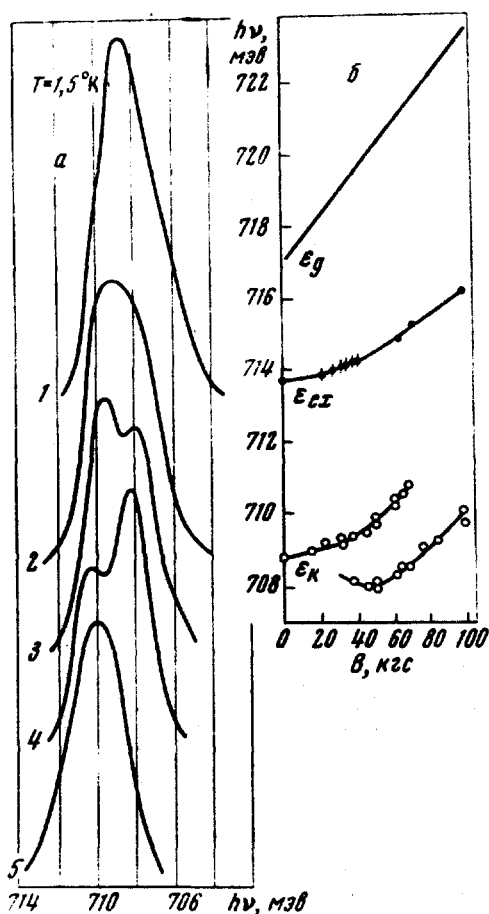
ИЗЛУЧЕНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВУЮЩИХ ЭКСИТОНОВ В Ge В СИЛЬНЫХ МАГНИТНЫХ ПОЛЯХ

*А.С.Алексеев, В.С.Багаев, Т.Н.Галкина, О.В.Гоголин,
Н.А.Пенин, А.Н.Семенов, В.Б.Стопачинский*

В последнее время несомненный интерес вызывают вопросы, связанные с поведением экситонного газа при низких температурах и высоких плотностях, когда $(n\sigma_0)^3 \sim 1$, где n — концентрация экситонов, а σ_0 — их борковский радиус. При этом обсуждаются, в основном, две концепции для возможного состояния системы "сильно" взаимодействующих экситонов, а именно: либо диэлектрический газ, состоящий из экситонных молекул, либо подобные жидкому металлу электронно-дырочные капли. Причем, несмотря на существенные различия этих двух моделей, большинство экспериментов и, в частности, данные по рекомбинационному изучению объясняются различными авторами как с той, так и с другой точки зрения.

Причина, объясняющая это обстоятельство, заключается, по-видимому, в том, что в настоящее время отсутствует достаточно надежная теория, описывающая эти явления с учетом реальной зонной структуры исследуемых полупроводников, что приводит к известной свободе в выборе определенных допущений при интерпретации экспериментальных данных. Для того, чтобы ограничить эту свободу, необходимы эксперименты по изучению системы взаимо-

действующих экситонов при наличии некоторого возмущения, позволяющего использовать те существенные различия, которые имеют место у биэкситона и электронно-дырочных капель. К числу таких возмущений следует отнести, например, одноосное сжатие [1], взаимодействие с электромагнитным излучением [2] и магнитооптические исследования, которые, как известно, относятся к числу наиболее эффективных методов в смысле идентификации оптических спектров.



a — спектры рекомбинационного излучения Ge при различных напряженностях магнитного поля: 1 — $B = 0$; 2 — 38,4; 3 — 46; 4 — 60; 5 — 100; *б* — зависимость энергетического положения максимумов линий излучения ϵ_{k_1} .

ϵ_{k_2} и ϵ_{ex} и ϵ_{ex} от магнитного поля: ϕ — по данным работы [3], \bullet — данные настоящей работы.

В данной работе приводятся некоторые из результатов, полученных при изучении рекомбинационного излучения чистого Ge при температуре от 1,5 до 4,2°K и высоких уровнях возбуждения в сверхсильных магнитных полях. Работа проводилась на установке "Соленоид" ФИАН, позволяющей создать стационарные магнитные поля до 100 кГс в цилиндрическом объеме с диаметром 50 мм. Экспериментальные условия и система регистрации были аналогичны тем, которые имели место в [1].

На рисунке *a* приведены спектры рекомбинационного излучения Ge при температуре 1,5°K в зависимости от напряженности магнитного поля для случая $B \parallel [100]$. На рисунке видно, что в интервале магнитных полей от 40 до 70 кГс наблюдаются две линии излучения ϵ_k , которые с ростом B смещаются в коротковолновую сторону. Причем, величина "расщепления" (рисунк *б*) растет линейно с магнитным полем и при $B = 70$ кГс достигает 2,2 мэв.

На рисунке б приведены также экспериментальные данные работы [3] и настоящей работы о положении линии излучения свободного экситона при $4,2^\circ\text{K}$ в зависимости от напряженности магнитного поля.

Если пытаться интерпретировать полученные результаты с позиции, основанной на предположении о существовании экситонной молекулы, то приходится отказаться от механизма рекомбинации биэкситона, предложенного в работе [4]. Этот механизм предполагает исчезновение обоих экситонов, входивших в биэкситон; причем один из них гибнет излучательно, а другой разваливается на свободные электрон и дырку. Тогда $\epsilon_g - \epsilon_k$ должно быть больше удвоенной энергии связи экситона.

Однако, как видно на рисунке б, в магнитном поле 100 кГс это соотношение не выполняется. Кроме того, с позиции биэкситона, приводящего несомненно к появлению дискретных уровней в запрещенной зоне, практически невозможно объяснить наблюдаемое в магнитном поле расщепление линии излучения. Наблюдаемая величина расщепления ($\Delta = 2,2 \text{ мэВ}$) значительно превышает kT ($0,12 \text{ мэВ}$) и, поэтому, заполнение более высокого энергетического состояния (коротковолновая линия) должно быть пренебрежимо малым.

Это противоречие полностью снимается, если подходить к объяснению наблюдаемых эффектов с позиции металлических капель, в которых имеет место сильное вырождение носителей заряда. В этом случае можно наблюдать в излучении две или более линий, обусловленных квантованием Ландау, если расстояние между ними не превышает энергию Ферми ϵ_F . В частности, если предположить, что равновесная концентрация носителей в капле ($n_0 \sim 2 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$ [5]) не зависит существенно от величины магнитного поля, то при $B \parallel [100]$ в спектре излучения таких электронно-дырочных капель действительно должны наблюдаться две линии в интервале значений магнитного поля от 40 до 70 кГс. Эти линии связаны с рекомбинацией электронов, заполняющих нулевую подзону Ландау с дырками, которые согласно работе [6] заполняют подзону Ландау с $n = 0$, $m_j = +1/2$ (длинноволновая линия) и вырожденные подзоны Ландау $n = 0$, $m_j = -1/2$ и $n = 2$, $m_j = -3/2$ (коротковолновая линия).

Гашение коротковолновой линии, происходящее при напряженности поля $B > 70 \text{ кГс}$ как раз соответствует тому случаю, когда величина расщепления становится сравнимой с энергией Ферми для дырок при $B = 70 \text{ кГс}$.

Авторы благодарны В.Г.Веселаго за предоставление возможности работать на установке "Соленоид" и Л.В.Келдышу за полезные обсуждения.

Физический институт
им. П.Н.Лебедева
Академии наук СССР

Поступила в редакцию
7 июля 1970 г.

Литература

- [1] В.С.Багаев, Т.И.Галкина, О.В.Гоголин, Л.В.Келдыш. Письма в ЖЭТФ, 10, 309, 1969.
- [2] В.С.Завилов, В.А.Заяц, В.Н.Мурзин. Письма в ЖЭТФ, 10, 304, 1969.
- [3] C.Benoit a la guillaume, O.Parodi, Journal of Electr. and Contr., 6, 4, 1959.
- [4] J.Haynes. Phys. Rev. Lett., 17, 16, 1966.
- [5] Я.Е.Покровский, К.И.Свистунова. ФТП, 4, 491, 1970.
- [6] R.Wallis. H.Bowlden. Phys. Rev., 118, 456, 1960.