

СПЕКТРЫ ФОТОВОЗБУЖДЕНИЯ НЕПРЯМЫХ ЭКСИТОНОВ
В ГЕРМАНИИ В ОБЛАСТИ 2,0–2,6 МЭВ

В. И. Гавриленко, В. Л. Кононенко, Т. С. Манделыштам,
В. Н. Мурзин

УДК 505.349. – 537.311.33

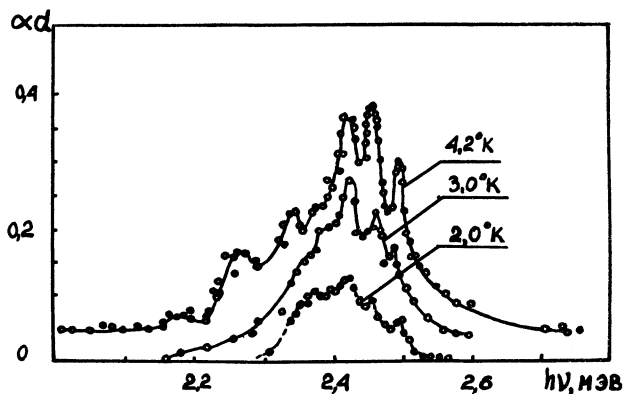
Экспериментально изучены спектры фотовозбуждения экситонов в ультрачистой германии в диапазоне энергий 2,0–2,6 мэв при температурах 2,0–4,2°К. В результате сопоставления с данными приближенного вариационного расчета предложена энергетическая структура "изотропного" экситона в германии.

Как известно, наиболее полная информация об энергетическом строении электронных связанных состояний может быть получена по спектрам их фотовозбуждения в области энергии ионизации. Это относится к обычным атомам, к примесным центрам и справедливо также в случае экситонных состояний в полупроводниках. Однако, для реализации этих данных необходима идентификация измеренных спектров, например, в результате сопоставления с теорией.

С этой целью в работах /1–3/ была предложена приближенная энергетическая модель непрямого экситона в германии, условно приводящая к двум сериям уровней для так называемых "анизотропного" и "изотропного" /4/ экситонов. Выполненные в тех же работах /1–3/ измерения спектров фотовозбуждения экситонов в германии удовлетворительно описывались в части, касающейся, "анизотропного" экситона. Спектры "изотропного" экситона не анализировались, так как измерения в области 2,0–2,6 мэв были выполнены недостаточно подробно из-за нестабильности зон генерации использованных ламп обратной волны.

В настоящей работе экспериментально подробно изучены спектры поглощения не прямых экситонов в ультрачистых образцах германии в диапазоне энергий 2,0–2,6 мэв. Измерения проведены с применением ламп обратной волны по дифференциальной методике, описанной в /1/. Для выделения линий поглощения, принадлежащих перехо-

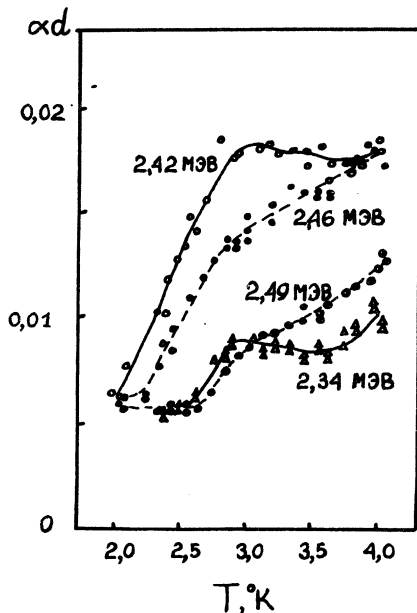
дам с разных основных состояний "анизотропного" и энергетически более мелкого "изотропного" экситонов измерения проводились при разных температурах в интервале 2,0–4,2°К.



Р и с. I. Спектр экситонного поглощения в германии

Как видно из рис. I, экситонный спектр поглощения в области 2,0–2,6 мэВ состоит из ряда весьма узких линий шириной 0,05–0,1 мэВ при 2,34; 2,42; 2,46; 2,49 мэВ и более слабых особенностей при 2,18; 2,26; 2,38 мэВ. На рис. 2 представлены результаты исследования температурной зависимости интенсивности этих линий. Можно видеть, что линии с максимумами при 2,34 и 2,42 мэВ практически не меняются по интенсивности в диапазоне температур 3,0–4,0°К, в то время как интенсивность линий 2,46 и 2,49 мэВ заметно уменьшается с понижением температуры. Общее падение интенсивности всего спектра экситонного поглощения при температурах ниже 2,8–3,0°К, как было показано в предыдущих работах /1–3/, обусловлено фазовым переходом системы свободных экситонов в конденсированное состояние. Таким образом, изучение температурной зависимости интенсивности экситонного спектра поглощения показывает, что помимо линий, обусловленных переходами с основного состояния "анизотропного" экситона (2,34 и 2,42 мэВ), в исследованной области спектра имеются весьма интенсивные линии поглощения 2,46 и 2,49 мэВ, обусловленные переходами с основного состояния "изотропного" экситона. Этот результат является су-

щественным и совместно с нашими прежними данными /I/ позволяет наметить общую энергетическую структуру "изотропного" экситона в германии. Результаты выполненного ранее приближенного теоре-



Р и с.2. Температурная зависимость интенсивности поглощения основных линий экситонного спектра

тического расчета возбужденных состояний "изотропного" экситона /I/, приведенные в таблице I, оказываются при этом в удовлетворительном согласии с экспериментальными данными о положении температурно зависимых линий экситонного спектра поглощения 2,46; 2,49; 2,875; 3,03 мэв, которые нами отождествляются с переходами с основного на возбужденные уровни "изотропного" экситона. Действительно, если наиболее интенсивные линии 2,46 и 2,875 мэв отнести к переходам типа $1s - 2p$ и $1s - 3p$ "изотропного" экситона, то его энергия связи окажется порядка 3,2 мэв ($2,46 + 0,72 = 3,18$ мэв и $2,875 + 0,32 = 3,20$ мэв). Поглощение в области 3,0-3,1 мэв в этом случае может быть связано с переходами на бо-

лее высокие возбужденные состояния. Основное состояние "изотропного" экситона, как и в случае "анизотропного" экситона, оказывается несколько более глубоким, чем это следует из приближенного расчета на основе уравнений эффективной массы.

Таблица I

Энергетические уровни непрямого "изотропного" экситона в германии, определенные в результате вариационного расчета /1/

Состояние	1s	2s, 2p	3s, 3p	4s, 4p	5s, 5p
энергия, мэв	2,883	0,721	0,320	0,180	0,115

Следует заметить, что энергия активации, получаемая из наклона температурных зависимостей интенсивности линий экситонного спектра /1/, по-видимому, не может использоваться для оценки энергетического расстояния между основными уровнями "изотропного" и "анизотропного" экситонов. Концентрация свободных носителей в экспериментах такого рода, как показано в /5/, может немного превышать равновесную концентрацию, определяемую тепловой ионизацией экситонов. Соответственно, распределение экситонов по уровням может также оказаться отличным от равновесного, а экспериментально наблюдаемая энергия активации, соответствующая энергетическому расстоянию между этими уровнями, заниженной.

Поступила в редакцию
14 июля 1975 г.

Л и т е р а т у р а

1. Н. В. Гузеев, В. А. Заяц, В. Л. Кононенко, Т. С. Манделыштам, В. Н. Мурзин. ФТП, 8, 1633 (1974).
2. V. L. Kononenko, T. S. Mandel'stam, V. N. Murzin, V. S. Vavilov, V. A. Zayats. IEEE Trans. Microwave Theory Techn., MTT-22, N. 12, 1086 (1974).
3. V. L. Kononenko, T. S. Mandel'stam, V. N. Murzin, V. S. Vavilov, V. A. Zayats. Proc. 12 Int. Conf. Phys. Semicond., Stuttgart (1974), p. 152.
4. S. Zwerdling, B. Lax, L. Roth, K. J. Button. Phys. Rev., 114, 80 (1959).
5. O. Christensen, J. C. McGroddy. Sol. St. Comm., 15, 811(1974).