

ЛИНЕЙЧАТЫЕ СПЕКТРЫ ИК ЛЮМИНЕСЦЕНЦИИ КРИСТАЛЛОВ КУБИЧЕСКОГО КАРБИДА КРЕМНИЯ

И.С.Горбань, А.В.Слободянюк

Ранее сообщалось о наблюдении нескольких типов спектров инфракрасной (ИК) фотолюминесценции (ФЛ) карбида кремния α -модификации [1 - 4]. Сейчас мы приводим данные о новом ИК спектре SiC, впервые наблюдавшемся на кубической модификации SiC.

Кубический карбид кремния имеет наиболее простую, по сравнению с другими политипами, решетку, в которой отсутствуют неэквивалентные положения атомов, обуславливающие усложнение спектров люминесценции.

Образцы β -SiC n -типа, использованные нами, имели вид пластин желтого цвета, весьма однородных и прозрачных (размером $3 \times 3 \times 0,4$ мм). При $T = 4,2$ К на них наблюдалась сильная зеленая ФЛ экситонов, локализованных на нейтральных донорах азота [5]. Методика измерений ИК ФЛ была описана в [1].

Типичные спектры ИК ФЛ β -SiC представлены на рисунке. Их характерная черта состоит в том, что все они резко ограничены с длинноволновой стороны сильной линией при $1,2827$ эв, причем эта линия присутствует во всех спектрах. Не зарегистрированы также линии более коротковолновые, чем линия при $1,361$ эв. Полуширина линий $\Delta h\nu = 0,4$ мэв при $T = 4,2$ К. По-видимому все линии связаны с бесфононными переходами. Положение линий в спектре энергий приведено в таблице.

Анализ спектров нескольких десятков образцов показал, что из всего многообразия линии можно выделить серию линий, сходящуюся в длинноволновую сторону. Линии этой серии всегда наблюдаются одновременно, их интенсивность по отношению друг к другу сохраняется примерно одинаковой на всех образцах (отклонения не превышают 20%).

Линия s_{∞} , образующая длинноволновую границу серии, всегда доминирует по интенсивности. Другие линии этой серии обозначены буквами s_{i+k} , с $k=0$ для самой коротковолновой линии¹⁾. При повышении температуры от 4,2 до 77К интенсивность всех линий, отнесенных к серии, уменьшается одновременно.

линия	$h\nu$, эв	линия	$h\nu$, эв	линия	$h\nu$, эв
s_{∞}	1,2827	l_1	1,295	l_7	1,318
s_{i+5}	1,2834	l_2	1,296	l_8	1,325
s_{i+4}	1,2848	l_3	1,300	l_9	1,333
s_{i+3}	1,2874	l_4	1,3045	h_2	1,3425
s_{i+2}	1,2937	l_5	1,310	l_{10}	1,346
s_{i+1}	1,3075	l_6	1,315	h_3	1,356
s_i	1,335	h_1	1,3173	h_4	1,361

Наряду с линиями s -серии, которые присутствуют на всех кристаллах, могут наблюдаться линии, интенсивность которых бывает различной как по отношению к линиям серии, так и по отношению друг к другу, в зависимости от образца. Четыре из них (h_1, h_2, h_3, h_4) в некоторых кристаллах имеют интенсивность такого же порядка, как и линия s_{∞} (при 4,2К), которая уменьшается при повышении температуры медленнее, чем интенсивность s -серии, причем неодинаково для различных линий. Наименьшее влияние возрастание температуры оказывает на линию h_2 . Остальные линии, обозначенные буквами l никогда не

¹⁾ Для линий серии приближенно выполняется соотношение

$$h\nu_{i+k+1} = h\nu_{i+k} - \frac{1}{2} (h\nu_{i+k-1} - h\nu_{i+k}),$$

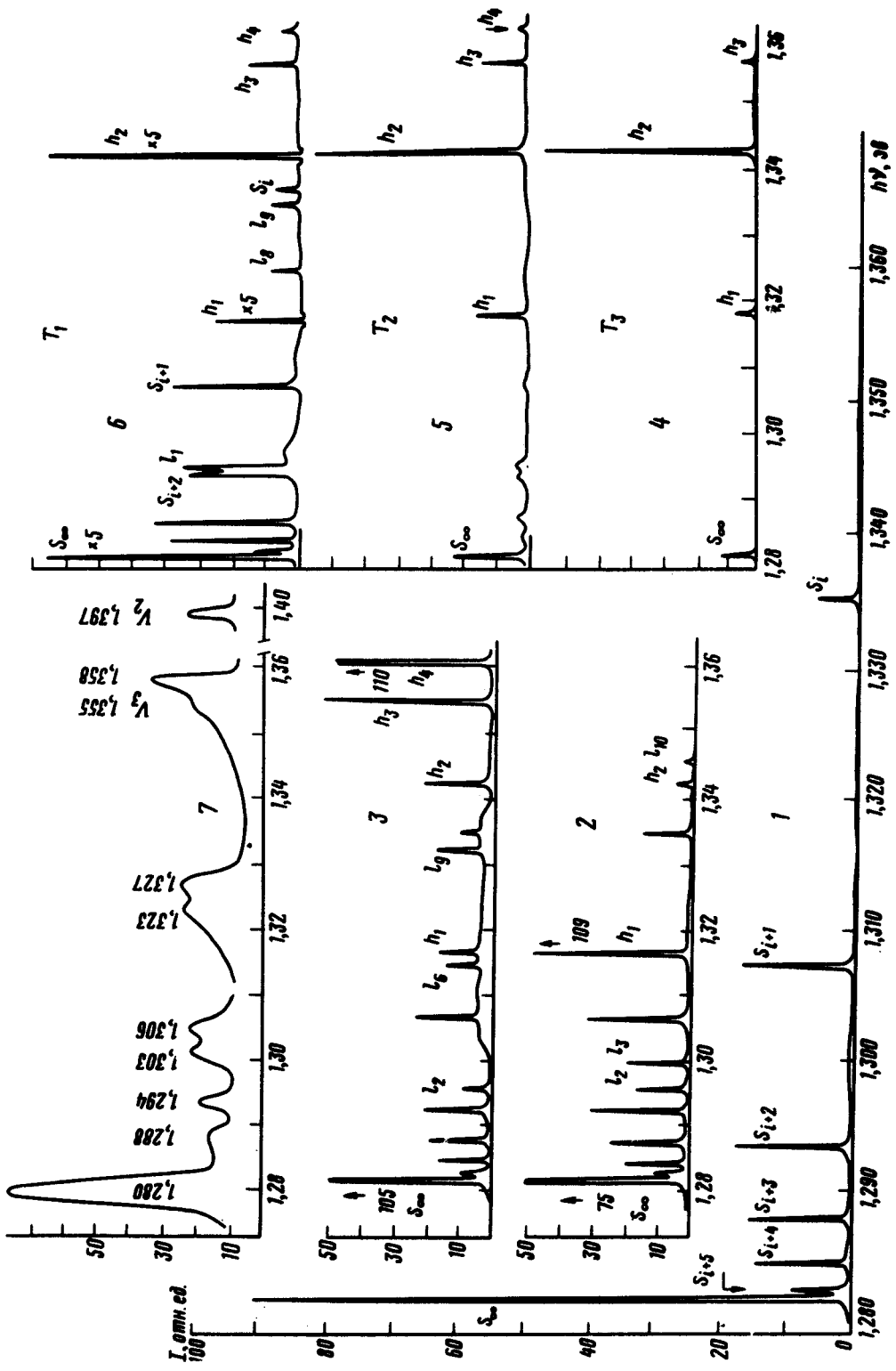
которое приводит к формуле

$$h\nu_{i+k} = h\nu_i - \left(1 - \frac{1}{2k}\right) (h\nu_{i-1} - h\nu_i)$$

достаточно точной для коротковолновых линий, но дающей несколько заниженные результаты при больших k .

Подпись к рисунку

Спектры ИЛ. ФЛ карбида кремния: 1, 2 и 3 – спектры β -SiC при $T = 4,2$ К (линии s -серии в спектрах 2, 3, не обозначены); 4 + 6 – спектры β -SiC при различных температурах, $T_1 = 4,2$ К < T_2 < $T_3 = 77$ К; 7 – спектр $6H$ -SiC при $T = 77$ К (числа указывают энергию фотонов в максимумах полос, буквы V_2 и V_3 обозначают линии спектра, описанного в [3])



превосходят по интенсивности линии s -серии. Никаких закономерностей для линий, не относящихся к s -серии, установить не удалось.

Наличие отдельных узких линий s -серии, сходящихся к длинноволновому пределу, может быть связано с дискретностью расстояний между компонентами излучающего комплекса, причем большим расстояниям, соответствуют большие энергии связи электрона и дырки. Линия s_{∞} , образующая границу серии, соответствует в таком случае "бесконечным" расстояниям. Энергия квантов излучения для таких пар может быть представлена в виде

$$h\nu = E_g - (E_1 + E_2) + f(r),$$

где E_1 и E_2 — энергетическое удаление уровней отдельных компонент центра от ближайших зон, E_g — ширина запрещенной зоны. Небольшое число линий и их быстрая сходимось по сравнению со спектром донорно-акцепторных пар (например, в [6]), могут быть обусловлены тем, что энергия взаимодействия имеет вид $f(r) \sim 1/r^n$, причем $n > 1$. Такая ситуация может возникнуть, например, в случае взаимодействия кулоновского центра с поляризуемым им нейтральным центром или же с электрическим диполем, обладающим короткодействующим потенциалом.

Возможное объяснение линий l и h состоит в том, что они возникают в результате рекомбинации экситонов, локализованных не на простых парных центрах s -серии, а на более сложных ассоциатах, образованных теми же дефектами. Однако не исключено участие других примесей. Некоторые линии могут оказаться аналогами спектров наблюдавшихся ранее в других политипах. Так, например, линия h_2 , доминирующая при $T = 77\text{K}$ может быть бесфоновой линией спектра типа abc [1], соответствующей единственно возможному положению центра люминесценции в решетке.

В заключение отметим, что нам удалось наблюдать спектры рассматриваемого типа на ряде образцов 6H-SiC (рис. 1, кривая 7). Линия s_{∞} (6H) сдвинута всего на 2 мэВ в длинноволновую сторону по сравнению с линией s_{∞} (β) (ширина запрещенной зоны составляет 2,390 для β -SiC и 3,023 эВ для 6H-SiC). Линии спектра 6H-SiC уширены по сравнению с линиями в кубических кристаллах, поэтому сопоставление спектрального положения других линий затруднительно. Такое уширение может быть связано с наличием неэквивалентных положений дефектов, принимающих участие в люминесценции.

Киевский

государственный университет

им. Т.Г.Шевченко

Поступила в редакцию

3 февраля 1975 г.

Литература

- [1] И.С.Горбань, А.В.Слободянюк. ФТТ, 15, 789, 1973.
- [2] И.С.Горбань, А.В.Слободянюк. ФТТ, 15, 2877, 1973.
- [3] И.С.Горбань, А.В.Слободянюк, ФТТ, 16, 263, 1974.
- [4] И.С.Горбань, А.В.Слободянюк, ФТТ, 16, 1789, 1974.
- [5] W.J.Choyke, D.R.Hamilton, L.Patrick. Phys. Rev., 133, A1163, 1964
- [6] W.J.Choyke, L.Patrick. Phys. Rev., B2, 4959, 1970.