

РЕЗОНАНСНАЯ СТРУКТУРА В НЕПРЕРЫВНОЙ ПОЛОСЕ ФОТОИОНИЗАЦИИ ИОНА Zn^- В ГЕРМАНИИ

М.Г. Галкин, В.А. Курбатов, Н.А. Пенин, Н.Н. Соловьев

В непрерывной полосе фотоионизации иона Zn^- в германии обнаружена резонансная структура, существенно отличающаяся от подобной структуры, свойственной примесям в кремнии. Полученные данные позволили установить энергетическое положение первого четного возбужденного состояния иона Zn^- .

Резонансная структура в непрерывной полосе примесного поглощения обнаружена и исследована на ряде примесей в кремнии [1, 2]. Она представляет собой набор асимметричных линий, энергетическое положение которых совпадает со спектром дискретных состояний примеси, сдвинутым в сторону больших энергий на величину энергии оптического фонона. Форма и положение этих линий позволяют интерпретировать их как результат проявления резонансного взаимодействия бесфононного континуума с оптическими фононами (резонансы типа Брейта-Вигнера-Фэно). Участие фононов в этих процессах фотоионизации разрешает переходы на четные возбужденные состояния примесного центра и таким образом создает возможность их непосредственного наблюдения.

Что же касается германия, материала во многом подобного кремнию, то до сих пор в литературе отсутствовали какие-либо сведения о наблюдении резонансной структуры в непрерывной полосе примесного поглощения.

В настоящей работе представлены результаты исследования структуры в спектре поглощения иона Zn^- в германии при энергиях кванта, превышающих порог фотоионизации.

Измерения производились с помощью решеточного ИК спектрофотометра при температуре 30 К. Для компенсации отражения, а также поглощения кристаллической решеткой в канал опорного луча помещался образец из чистого германия.

На рис. 1 представлен участок спектра поглощения, на котором отчетливо видна резонансная структура. Положение резонансных линий точно совпадает с положением линий G, D, C и B спектре переходов на возбужденные состояния [3], смещенных в сторону больших энергий кванта на величину энергии оптического фонона в центре зоны Бриллюэна ($\hbar\Omega = 37,2$ мэВ). Достаточно хорошо разрешается также линия с энергией кванта $\hbar\omega = 98,6 \pm 0,3$ мэВ. Предполагается что ей отвечает линия E, которая обусловлена переходом с основного на первое четное возбужденное состояние $2s_{3/2}$ ($2\Gamma_8^+$).

Линия E наблюдалась ранее только в спектрах поглощения мелких акцепторов в германии, где она располагалась между линиями G и D, которым соответствуют переходы на нечетные возбужденные состояния. В том же диапазоне энергий кванта, где переходу на наиболее глубоко расположенное возбужденное состояние отвечает линия G, исследовались и спектры глубоких акцепторов. Показательно, что детальные исследования, проведенные в этом диапазоне для иона Zn^- [3], не выявили наличие линии E. Надо сказать, что s-подобные состояния подвержены, в силу своей "компактности", влиянию коррекции за счет вклада центральной ячейки, как это наблюдается в случае мелких акцепторов [4]. Ион Zn^- , для которого велика поправка к энергии основного состояния, должен иметь и $2s_{3/2}$ состояние, сильно смещенное вглубь запрещенной зоны. Поскольку не вызывает сомнения сам факт существования этого состояния, и оно не обнаружено в области энергий кванта, превышающих (65 – 67) мэВ [3], очевидно, что оно должно быть глубже. Эти соображения позволяют отождествить обнаруженную резонансную линию с линией E, и таким образом определить энергетическое положение состояния $2s_{3/2}$ (относительно основного состояния) $E(1s_{3/2}) - E(2s_{3/2}) = 61,4 \pm 0,3$ мэВ. Относительное положение этого состояния, выраженное в безразмерных единицах, $(E(1s_{3/2}) - E(2s_{3/2}))/E(1s_{3/2}) = 0,710 \pm 0,004$ для иона Zn^- , являющегося изокорным германию

двухзарядным центром, с высокой степенью точности совпадает с аналогичным параметром для однозарядного изокорного центра Ga(0,708 ± 0,001) /5, 6/.

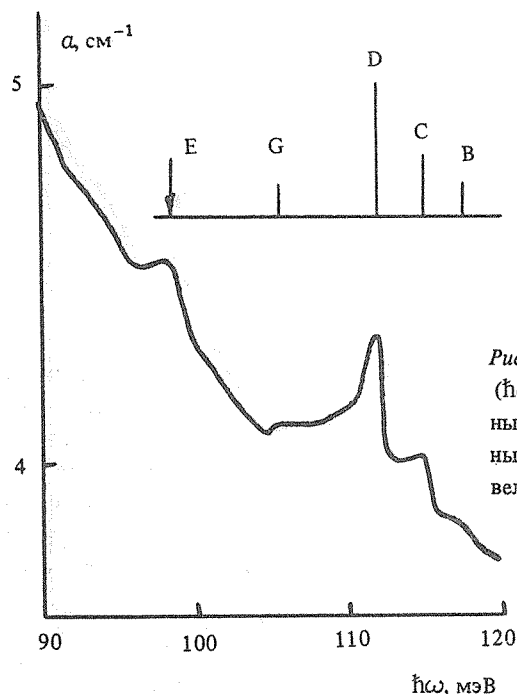


Рис. 1. Резонансная структура в непрерывной полосе фотоионизации ($\hbar\omega \geq 86,5$ мэВ) иона Zn^{2-} . В верхней части рисунка условно обозначены положения и амплитуды линий в спектре переходов на возбужденные состояния, смещенных в коротковолновую сторону спектра на величину энергии оптического фонона.

До сих пор, однако, не обсуждалось то обстоятельство, что резонансная структура, обнаруженная в спектре поглощения иона Zn^{2-} , хотя и совпадает энергетически со спектром типа Брейта–Вигнера–Фэно, тем не менее значительно отличается от него формой линий. По существу наблюдаемый спектр представляет собой суперпозицию основной полосы поглощения и подобной ей полосы, смещенной в сторону более коротких длин волн на величину энергии оптического фонона. Таким образом, в данном случае, в отличие от соответствующей структуры спектра поглощения примесей в кремнии, конечное состояние распадается на два независимых — чисто зонное и совокупность оптического фонона с дырочным состоянием (возбужденным или зонным) с меньшей энергией. Фактическая независимость двух соответствующих каналов реакции поглощения фотона вероятнее всего свидетельствует о том, что дырка взаимодействует с оптическим фононом значительно сильнее, находясь на возбужденном состоянии, нежели на зонном.

ЛИТЕРАТУРА

1. Watkins G. D., Fowler W. B. Phys. Rev. B, 16, 4524 (1977).
2. Janzen E., Stedman R., Grimmeiss H. G. Physica, 117/118B, 125 (1983).
3. Butler N. R., Fisher P. Phys. Rev. B, 13, 5465 (1976).
4. Lipari N. O., Baldereschi A., Thewalt M. L. W. Solid St. Commun., 33, 277 (1980).
5. Jones R. L., Fisher P. J. Phys. Chem. Solids, 26, 1125 (1965).
6. Haller E. E., Hansen W. L. Solid St. Commun., 15, 687 (1974).

Поступила в редакцию 1 декабря 1987 г.