

УДК 592.315

ФОТОИНДУЦИРОВАННОЕ ИК ПОГЛОЩЕНИЕ В ЛЕГИРОВАННОМ КРЕМНИЕМ ЖЕЛЕЗОИТТРИЕВОМ ГРАНАТЕ

Н. Г. Находкин, В. В. Вознюк

На основании исследований фоточувствительных особенностей спектров ИК поглощения легированного кремнием железиттриевого граната, проведенных при температурах 4.2—300 К, предложена модель примесного центра, которая удовлетворительно объясняет электрические релаксации и фоточувствительность кристалла и может быть использована для объяснения фотомагнитных свойств последнего.

Фотоиндуцированные магнитные эффекты в железиттриевом гранате, легированном кремнием (ЖИГ : Si), связывают с преобразованием валентности железа, обусловленной переходом электронов по схеме $Fe^{3+} + e \rightleftharpoons Fe^{2+}$ [1, 2], т. е. с электрическими релаксациями в кристалле. Это нашло экспериментальное подтверждение при исследованиях термостимулированной деполяризации (ТСД) ЖИГ : Si в наших предшествующих работах [3, 4]. Было установлено, что в легированных кристаллах имеются три вида светочувствительных релаксационных процессов, температурные изменения скоростей которых коррелируют с температурной зависимостью относительного изменения магнитной проницаемости при освещении. Несомненно, что изменения электронных состояний в кристаллах при освещении должны влиять на их оптические свойства. Однако этот вопрос остается неисследованным. Содержащиеся в литературе сведения [5, 6] об изменении поглощения в области длин волн $\lambda \approx 1$ мкм после подсветки видимым светом кристаллов ЖИГ : Si недостаточны для установления связей между результатами электрических и оптических исследований. Поэтому в данной работе исследовались изменения, производимые подсветкой видимым светом на спектры поглощения в диапазоне волновых чисел $\nu^* = \lambda^{-1} = 700 \div 4000$ см⁻¹ тех же образцов ЖИГ : Si ($Y_3Fe_{5-x}Si_xO_{12}$), которые использовались нами ранее в исследованиях термостимулированной деполяризации [3]. Толщина их 0.1—0.8 мм. Используемый Фурье-спектрометр позволял получать разностный спектр поглощения на образцах ЖИГ : Si до и после подсветки их видимым светом. Исследования проводились в интервале температур 4.2—300 К.

В спектрах поглощения нелегированных кристаллов ЖИГ в пределах чувствительности используемого прибора не было обнаружено существенных особенностей, зависящих от подсветки видимым светом. Легирование кристаллов приводит к появлению характерных особенностей спектра поглощения, интенсивности которых зависят от степени легирования. На рис. 1, 1 приведен типичный спектр поглощения ЖИГ : Si со степенью легирования $x=0.043$, полученный при 5 К. Видно, что в абсорбционном спектре появился ряд характерных особенностей. Их интенсивность оказалась зависящей от подсветки видимым светом.

На рис. 1, 2 приведен участок разностного спектра, полученного после машинной обработки спектров поглощения ЖИГ : Si до и после экспозиции видимым светом при температуре 5 К. Наблюдается появление нескольких светочувствительных областей изменения поглощения кристалла. Сопоставление температурных зависимостей интенсивностей светочувстви-

тельных особенностей, обозначенных индексами α , β , γ , и интенсивностей тиков ТСД позволило идентифицировать области дополнительного поглощения с оптическим возбуждением носителей заряда в обнаруженных ранее [3] α -, β - и γ -ловушках, обуславливающих светочувствительные пики ТСД.

Из сравнения энергии квантов $h\nu$ появления светочувствительных особенностей в спектре поглощения с энергиями активации соответствующих ловушек E , определенных методом ТСД [3], следует, что $h\nu_{\alpha, \beta, \gamma}$ совпадают с удвоенными значениями термических энергий активации $h\nu_{\alpha, \beta, \gamma} = 2E_{\alpha, \beta, \gamma}$ (см. таблицу). Совпадение значений $h\nu_{\alpha, \beta, \gamma}$ с $2E_{\alpha, \beta, \gamma}$ позволяет предположить, что светочувствительные изменения α -, β - и

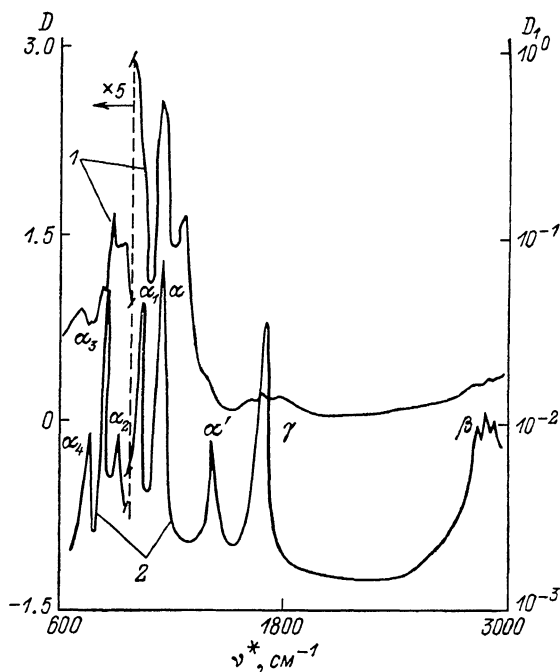


Рис. 1. Спектр поглощения $D(\nu^*)$ неосвещенного образца (1), разностный спектр поглощения $D_1(\nu^*)$ до и после подсветки образца видимым светом (2).

γ -особенностей, исследованные двумя различными методами (оптическим и ТСД), определяются одними и теми же электронными процессами в кристалле.

В качестве рабочей гипотезы можно считать, что после фотовозбуждения электронов в зону проводимости видимым светом они затем захватываются ионами Fe^{3+} . Возможность такого захвата облегчается при легировании кристалла ионами Si^{4+} , которые, замещая Fe^{3+} в тетраэдрической катионной решетке ЖИГ, приносят избыточный положительный заряд. Кулоновское возмущение примесью Si^{4+} приводит к захвату электронов ионами Fe^{3+} в октаэдрических узлах. При этом возмущение, испытываемое октаузлом со стороны иона Si^{4+} , зависит от расстояния между ними. Следовательно, с изменением расстояния от примеси Si^{4+} энергия электрона, захваченного ионом Fe^{3+} в октаузле, изменяется. Согласно [1], расстояния от иона Si^{4+} до четырех ближайших октаузлов составляют $r_1=3.44$, $r_2=5.54$, $r_3=7.05$ и $r_4=8.28$ Å. Сопоставление этих величин с найденными нами ранее [3] энергиями активации низкотемпературных типов ТСД показывает, что между ними выполняется следующее соотношение:

$$E_{\alpha} : E_{\gamma} : E_{\beta} \approx r_4^{-1} : r_2^{-1} : r_1^{-1}. \quad (1)$$

Пик ТСД, соответствующий расстоянию $r_3=7.05$ Å, выделить не удастся из-за того, что он совпадает с пиком α .

Соотношение (1) позволяет предложить схему активного центра (рис. 2). Отдельные потенциальные ямы по-разному заселены электронами за счет предшествующих возбуждений электронов в зону проводимости. Эти электроны ответственны за соответствующие области поглощения в абсорбционном спектре ЖИГ : Si. Уровень заселенности отдельных потенциальных ям можно изменять освещением кристаллов видимым светом. Оно приводит к возбуждению электронов в зону проводимости с последующим их захватом потенциальными ямами, расположенными на расстояниях, равных расстояниям от Si^{4+} до ближайших октаузлов. Поэтому

Значения термических и оптических энергий ионизации ловушек

	E , эВ	ν^* , см^{-1}	$h\nu$, эВ
α	0.07	1170	0.145
α'	—	1460	0.181
γ	0.11	1730	0.214
β	0.17	2900	0.360

$$h\nu_{\alpha} : h\nu_{\alpha'} : h\nu_{\gamma} : h\nu_{\beta} \approx r_4^{-1} : r_{3-}^{-1} : r_{2-}^{-1} : r_1^{-1}. \quad (2)$$

Отсюда вытекает, что должны существовать потенциальные ямы с меньшими энергиями возбуждения и при больших значениях $r > r_4$. Это утверждение находится в согласии с наблюдаемой релаксацией магнитной

восприимчивости при гелиевых температурах [7]. Поэтому были проведены исследования спектров поглощения ЖИГ : Si и светочувствительных их изменений в более длинноволновой области при низких температурах.

На рис. 3 приведена зависимость измеренных нами энергий $h\nu_i$ появления восьми светочувствительных особенностей абсорбционного спектра от расстояний r_i . Видно, что экспериментальные точки хорошо укладываются на прямую линию, проходящую через начало координат. Энергетические глубины залегания уровней захвата описываются соотношением

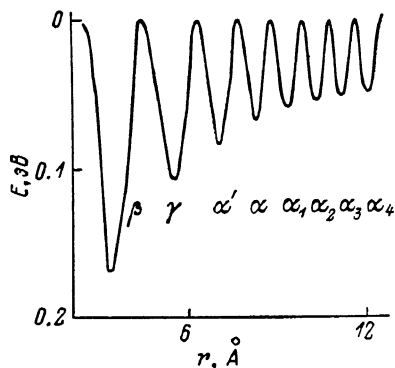


Рис. 2. Зависимость термических глубин потенциальных электронных ям активного центра от расстояния между примесью Si^{4+} и ближайшими октаузлами.

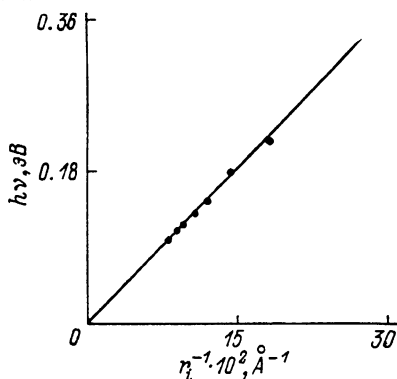


Рис. 3. Зависимость энергий фотовозбуждения центров захвата от расстояний Si^{4+} —ближайшие октаузлы.

$h\nu_i = e^2/\epsilon r_i$, где ϵ — диэлектрическая постоянная среды, e — заряд электрона. Из наклона экспериментальной прямой на рис. 3 можно определить значение ϵ . Оно оказалось равным 12, что хорошо совпадает со значением ϵ в ЖИГ, известным из данных [8].

Аналогичная модель потенциальных ям убывающей глубины с ростом расстояния от Si^{4+} или вакансии кислорода была использована в [2] для объяснения фотомангнитных эффектов в ЖИГ. Однако в этой работе не были конкретизированы ни положение потенциальных ям, ни их глубины. В нашей работе удалось экспериментально определить локализацию и энергию восьми потенциальных ям. Эти ямы образуются ионами Fe^{3+} , расположенными в октаузлах кристалла, возмущенных полем иона Si^{4+} . Энергии возбуждения этих ловушечных состояний определяются кулоновским полем в местах дислокаций октаузлов, ближайших от примесного иона Si^{4+} .

В заключение считаем своим приятным долгом выразить благодарность В. И. Шаховцову, Л. И. Хируненко и В. К. Шинкаренко за предоставленную возможность проведения исследований в ИК области и обсуждение результатов.

С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] Бердышев А. А., Кожевников Н. В. // Деп. в ВИНТИ. 1977. № 2795-77 Деп.
- [2] Wurlitzer M., Franke J. // Phys. St. Sol. (a). 1981. V. 4. N 1. P. 539—547.
- [3] Находкин Н. Г., Вознюк В. В., Коваленко В. Ф., Куц П. С. // ФТТ. 1984. Т. 26. № 3. С. 918—920.
- [4] Находкин Н. Г., Вознюк В. В. // Укр. физ. журн. 1987. Т. 32. № 6. С. 919—922.
- [5] Wood D. L., Remeika J. P. // J. Appl. Phys. 1966. V. 37. N 2. P. 1232—1233.
- [6] Gyorgy E. M., Dillon J. F. // J. Appl. Phys. 1971. V. 5. N 4. P. 481—492.
- [7] Wurlitzer M. // Phys. St. Sol. (a). 1982. V. 72. N 1. P. 169—176.
- [8] Таблицы физических величин / Под ред. И. К. Кикоина. М., 1976. 1006 с.

Киевский государственный университет
им. Т. Г. Шевченко
Киев

Поступило в Редакцию
29 июня 1988 г.
В окончательной редакции
4 ноября 1988 г.

