О ЦЕНТРАХ ОКРАСКИ ИТТРИЙ-АЛЮМИНИЕВОГО ГРАНАТА, ОБЛУЧЕННОГО БЫСТРЫМИ ЭЛЕКТРОНАМИ

Р. Р. АТАБЕКЯН, В. А. ГЕВОРКЯН, А. Х. ГРИГОРЯН, Г. Н. ЕРИЦЯН, Р. К. ЕЗОЯН, В. Х. САРКИСОВ

В работе исследованы центры окраски иттрий-алюминиевого граната (ИАГ), возникающие в результате облучения электронами с энергией 50 МэВ. Показано, что при комнатной температуре спектр дополнительного поглощения (ДП) граната простирается от 2500 до 10000 Å со слабо выраженной структурой в областях 2600 ÷ 2700, 2950 ÷ 3000, 5700 ÷ 6200 и 6900 ÷ 9000 Å. Подробно изучено изменение ДП при изохронном отжиге.

Кристалл ИАГ является одним из важнейших материалов, используемых в качестве активного элемента в ОКГ. Поэтому исследование центров окраски (ЦО), возникающих в кристаллах ИАГ вследствие облучения ионизирующим излучением и заряженными частицами, является актуальной задачей.

Известно, что в «чистых» кристаллах ИАГ и кристаллах ИАГ, содержащих TR^{3+} -ионы, при облучении их ультрафиолетовым светом, γ -лучами, электронами с энергией 1 и 3 МэВ и нейтронами возникают индуцированные центры окраски [1—7].

Широкие бесструктурные полосы в области 3000 ÷ 5000 А в спектрах поглощения кристаллов ИАГ и ИАГ-Nd3+, облученных УФ-светом, авторами работы [1] приписывались центрам, аналогичным F-центрам щелочно-галондных кристаллов. Такой же спектр поглощения в у-облученных неактивированных кристаллах граната наблюдался в работе [2]. В работе [3] авторы обнаружили в спектре дополнительного поглощения (ДП) неактивированного ИАГ полосу 2600 А и две полосы 2600 и 3100 Å в спектре ДП граната с примесями ионов TR3+. Полоса 3100 Å не зависит от вида TR^{3+} -ионов $(Pr^{3_{7}}, Tb^{3+}, Dy^{3+}, Ho^{3+}),$ что позволяет предположить о вхождении TR³⁺-иона в комплекс ЦО, однако его влияние на оптические характеристики несущественно. В то же время в работе [2] показано, что в у-облученных кристаллах граната ионы Pr3+ и Tb3+, легко переходящие в четырехвалентное состояние, образуют ловушки дырок, вследствие чего в их присутствии создаются условия для увеличения концентрации электронов в ловушках. В работе [4] предполагается, что полосы 3000 и 3700 А, возникающие в у-облученных консталлах ИАГ с примесями Еш³⁺ и Yb³⁺, соответствуют О- и О-центрам. Однако в [2] аналогичные полосы приписываются ионам Еи2+ и Уб2+, образованным при захвате электронов трехвалентными ионами европия и итербия в у-облученных ИАГ.

Настоящая работа посвящена изучению природы ЦО, возникающих в кристаллах ИАГ при облучении электронами с энергией 50 МэВ, и их физической интерпретации.

1. Методика эксперимента

Кристаллы ИАГ были выращены из «особо чистой» шихты в физико-химической лаборатории Кироваканского химического завода мегодом направленной кристаллизации. Кристаллы ИАГ специально не активировались. Полированные плоско-параллельные образцы облучались на линейном влектронном ускорителе Ереванского физического института влектронами с энергией 50 МаВ при токе 0,5 мкА. При облучении образцы охлаждались интенсивным потоком паров жидкого азота так, чтобы их температура не превышала ~ 10° С.

Для исследования ЩО кристаллов ИАГ толщина образцов (0,2 см) подбиралась таким образом, чтобы иметь воэможность изучать как сильные, так и слабые полосы поглощения. Спектр ДП кристаллов ИАГ изучался в области 2400 ÷ 10000 Å, поскольку при толщине 0,2 см пропускание начинается с 2400 Å. Спектры поглощения кристаллов ИАГ до и после облучения снимались на спектрофотометре СФ-8 при комнатной температуре. В процессе изохронного отжига облученный образец подвергался 15-минутному нагреванию с интервалом 25°С.

2. Экспериментальные результаты

На рис. 1 приведен характерный спектр ДП кристалла ИАГ, сблученного электронами с энергией 50 МэВ. Из рисунка видно, что при комнатной температуре спектр ДП граната простирается от 2500 до 10000 Å



Рис. 1. Спектр ДП кристалла ИАГ, облученного электронами с энергией 50 МэВ, доза облучения 5 · 10¹⁷ эл/см²: 1 — 20; 2 — 195; 3 — 400; 4 — 450: 5—475; 6—500; 7—525°С.

со слабо выраженной структурой в областях 2600 ÷ 2700, 2950 ÷ 3000, 5700 ÷ 6200 и 6900 ÷ 9000 А. Самой интенсивной является полоса 2950 ÷ 3000 Å. Таким образом, спектр ДП граната, облученного быстрыми влектронами, представляет собой наложение ряда полос поглощения.

Нагревание облученных образцов приводит к обесцвечиванию полос спектра ДП. Из рис. 1 видно, что скорость уменьшения коэффициента ДП различных полос различна. При температурах отжига 500 и 525° С на спектре ДП появляется структура в областях 2650, 2850, 3000, 3200 и 3750 А. Особый интерес представляет полоса 3750 А. Если после отжига при температуре 550° С все полосы исчевают, то полоса 3750 А еще заметна даже при температуре отжига 650° С (рис. 2).



Рис. 2. Полоса поглощения .3750 Å при различных температурах отжига: 1 — 550; 2 — 575; 3 — 600; 4 — 625° С. Рис. 3. Изохронный отжиг полос: 1—2950; 2—2650 Å.

На рис. З представлен температурный ход изменения $\Delta K \ A\Pi$ полос 2650 и 2950 Апри изохронном отжиге, где четко выражены две стадии отжига. С увеличением температуры отжига до 150° С ΔK полосы 2950 А не изменяется, а затем при дальнейшем нагревании уменьшается. В интервале 200 ÷ 350° С ΔK опять не изменяется, а при последующем увеличении температуры быстро уменьшается. Несколько иначе ведет себя ΔK полосы 2650 А в зависимости от температуры отжига. С возрастанием температуры ΔK этой полосы сначала медленно увеличивается, а затем уменьшается. Начиная примерно с температуры 220° С и до 350° С ΔK остается практически постоянным, но при дальнейшем увеличении температуры отжига снова уменьшается. Из рис. 3 также видно, что при высоких температурах отжига полоса 2950 А быстрее обесцвечивается.

Необходимо подчеркнуть, что вследствие наложения полос поглощения друг на друга исследование температурного хода ΔK отдельных полос в «чистом» виде затруднено.

3. Обсуждение результатов

Анализируя наши экспериментальные результаты, а также сопоставляя их с известными литературными данными, можно привести следующие рассуждения.

1. При прохождении быстрых электронов через кристалл ИАГ вследствие непосредственного взаимодействия с электронами решетки освобождаются вторичные электроны. Оценка числа вторичных электронов, получаемая интегрированием дифференциального сечения взаимодействия падающих электронов с электронами вещества в пределах энергий ог $I_{\rm cp}$ до 25 МэВ [8] с учетом дозы облучения 5 · 10¹⁷ эл/см², дала величину 1,1 · 10¹⁸ эл/см², где $I_{\rm cp}$ — средний ионизационный потенциал. 2. Быстрые электроны в электрическом поле ядра образуют тормозное излучение. Кванты тормозного излучения в результате фотоэффекта и комптон-эффекта могут выбить из атомов вторичные электроны с различной энергией. Согласно Бете и Гайтлеру [8], критическая энергия, соответствующая равенству потерь на тормозное излучение и на ионизацию, для ИАГ ($\overline{Z} = 14$) составляет около 57 МэВ, что мало отличается от энергии облучения. Поэтому мы предполагаем, что число вторичных электронов, образованных вследствие тормозного излучения, также порядка 10¹⁸ эл/см².

3. Быстрые электроны могут смещать атомы вследствие кулоновского взаимодействия с ядрами. Выбитые «первичные» атомы, по предположению Кинчина и Пиза [9], теряют энергию только на ионизацию в веществе до тех пор, пока их кинетическая энергия не достигнет граничного значения, ниже которого «первичные» атомы могут смещать атомы решетки. Максимальная энергия, которую могут передать электроны с энергией 50 МъВ атомам решетки ИАГ, равна 2·10⁵ ъВ для Al и 3,3·10⁵ ъВ для O, что в обоих случаях значительно превышает значение граничной энергии. Для иттрия значение максимальной энергии (6·10⁴ъВ) меньше величины граничной энергия.

Благодаря вышеупомянутым трем процессам в кристалле ИАГ после облучения быстрыми электронами образуется значительное количество носителей заряда. В результате захвата носителей заряда дорадиационными структурными дефектами решетки кристалла ИАГ образуются ЦО, которым соответствует полоса поглощения 2650 Å, подобно ЦО, индуцированным облучением у-лучами неактивированных кристаллов ИАГ [3].

Быстрые электроны также создают в кристалле более сложные дефекты, т. е. первично выбитые атомы в свою очередь выбивают из узлов решетки другие атомы, что приводит к образованию более сложных дефектов, на которых могут локализоваться носители заряда. По нашему предположению полосы 2950 ÷ 3000, 3750 и 5700 ÷ 6200 Å обусловлены такими сложными дефектами.

Наше предположение подтверждается данными по изохронному отжигу полосы 2950 ÷ 3000 Å. Действительно, при повышении температуры отжига, начиная с некоторой температуры, которая соответствует началу первой сгадии отжига, освобождаются носители заряда, локализованные на мелких уровнях захвата, и рекомбинируют с носителями противоположного заряда. Вторая стадия отжига обусловлена тем, что при высоких температурах начинают освобождаться носители заряда с более глубоких уровней захвата и одновременно частично разлагаются сложные центры, что приводит к быстрому уменьшению ЦО.

Медленное увеличение величины ΔK полосы 2650 Å от температуры можно объяснить повторным захватом освобожденных носителей заряда глубокими уровнями дорадиационных дефектов кристаллической решетки ИАГ. При высоких температурах носители заряда делокализуются с глубоких уровней. Появление полосы 3750 Å можно объяснить либо тем, что из-за малой интенсивности поглощения на фоне сильного поглощения полосы 2950 ÷ 3000 Å она не проявляется, либо одновременным разложением сложных центров и возникновением новых в процессе отжига. Более вероятным представляется первое объяснение.

Ереванский физический институт -Кироваканский химический завод

Поступила 20.111.1980

ЛИТЕРАТУРА

1. B. M. Bass, A. F. Paladino. J. Appl. Phys., 33, 2706 (1967).

- 2. С. Х. Батыгов н др. ФТТ, 14, 977 (1972).
- Ш. А. Вахидов, Э. Норагимова, А. А. Юсупов. Раднационные эффекты в монокристаллах, Изд. Фан, Ташкент, 1972, стр. 175.
- 4. П. А. Арсеньев и др. Кристаллография, 13, 740 (1968).
- 5. Г. Н. Пирогова и др. Изв. АН СССР, Неорганические материалы, 11, 1812 (1975).
- 6. Х. С. Баздасаров и др. Прикладная ядерная физика, Изд. Фан, Ташкент, 1973, стр. 205.
- 7. Ш. А. Вахидов и др. Раднационные явления в некоторых лазерных кристаллах. Изд. Фан, Ташкент, 1977, стр. 97.
- 8. Экспериментальная ядерная физика. Под ред. Э. Сегре, Изд. ИЛ, 1955, стр. 226, 234_
- 9. Г. Н. Кинчин, Р. С. Пиз. УФН, 60, 590 (1956).

ԱՐԱԳ ԷԼԵԿՏՐՈՆՆԵՐՈՎ ՃԱՌԱԳԱՑԹՎԱԾ ԻՏՐԻՈՒՄ–ԱԼՑՈՒՄԻՆԱՑԻՆ ՆՌՆԱՔԱՐԻ ԳՈՒՆԱՎՈՐՄԱՆ ԿԵՆՏՐՈՆՆԵՐԻ ՄԱՍԻՆ

Ռ. Ռ. ԱԹԱԲԵԿՅԱՆ, Վ. Ա. ԳԵՎՈՐԿՅԱՆ, Ա. Խ. ԳՐԻԳՈՐՑԱՆ, Գ. Ն. ԵՐԻՑՑԱՆ, Ռ. Կ. ԵՋՈՑԱՆ, Վ. Խ. ՍԱՐԿԻՍՈՎ

Աշխատանթը վերարերվում է գունավորման կենտրոնների բնույթի ուսումնասիրությանը, որոնբ առաջանում են չակտիվացված իտրիում-ալյումինային նոնաթարի թյուրեղներում 50 ՄէՎ էներգիայով օմտված էլեկտրոններով ճառագայթելիս։ Մինչև իտրիում-ալյումինային նոնաքարի նմուշների ճառագայթեունը և ճառագայթեռներ հետո կատարված սպեկտրալ հետաղոտությունները, ինչպես նաև գունավորման կենտրոնների ջերմային թրծումը թույլ են տալիս ենβագրելու, որ արագ էլեկտրոններով ճառագայթման ժամանակ աղատվում են 1,1.10¹⁸ էլ/ամ2 քանակությամբ երկրորդային էլեկտրոններ։ Զգալի քանակությամբ լիցքակիր մասնիկների առաջացումը և թյուրեղական ցանցի ատոմների տեղաշարժերն առաջացնում են գունավորման կենտրոններ։

ON THE COLOUR CENTRES OF YAG CRYSTALS IRRADIATED WITH FAST ELECTRONS

R. R. ATABEKYAN, V. A. GEVORKYAN, A. Kh. GRIGORYAN, G. N. ERITSYAN, R. K. EZOYAN, V. Kh. SARKISOV

The colour centres (CC) in pure crystals of yttrium-aluminium garnets (YAG) after the irradiation with 50 MeV electrons have been investigated. The investigation of YAG spectrum before and after the irradiation, as well as the isochronous annealing of CC allows to conclude that the direct interaction with the lattice electrons gives rise to the release of secondary electrons of the order of $1.1 \times 10^{18} \ el/cm^2$ and the additional absorption. The crystal lattice defects are initiated by both the secondary electrons and the knock-on atoms.