

УДК 535.534.2 : 539.2

## ИССЛЕДОВАНИЕ ОПТИЧЕСКОГО ПОГЛОЩЕНИЯ $F^+$ -ЦЕНТРА В КОРУНДЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СИНХРОТРОННОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

В. В. Арутюнян, В. А. Геворкян, Н. Е. Григорян,  
Г. Н. Ерицян, У. М. Мартиросян

С использованием высокой степени поляризации синхротронного излучения (СИ) обнаружены полосы оптического поглощения 6.3 и 7 эВ монокристалла номинально чистого корунда ( $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ ), облученного электронами с энергией 50 МэВ. Наблюдена сильная анизотропия для 6.3 эВ полосы поглощения. Было установлено, что при параллельной ориентации электрического вектора  $E$  СИ относительно оси  $C_3$  кристалла интенсивность полосы поглощения 6.3 эВ больше, чем при ортогональной ориентации. Обнаружено, что при облучении кристалла в спектре поглощения вместо бесструктурной широкой полосы в области 7—7.3 эВ появляется более четкая 7 эВ полоса. Сделан вывод, что полосы 6.3 и 7 эВ обусловлены электронными переходами внутри  $F^+$ -центра.

Применение в квантовых оптических генераторах монокристалла  $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$  с центрами окраски [1, 2] повышает актуальность детального исследования его оптических свойств. Особый интерес представляют центры окраски, которые поглощают и излучают в ультрафиолетовой (УФ) и вакуумной ультрафиолетовой (ВУФ) областях оптического поглощения (ОП) с целью изучения возможности создания лазеров, генерирующих в этих диапазонах спектра.

Одним из таких центров могут являться  $F^+$ -центры в корунде, создаваемые высокоэнергетичными частицами [3, 4].  $F^+$ -центры в  $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$  имеют  $C_2$  симметрию, вследствие чего возбужденное состояние, согласно теории, расщепляется на три уровня, обозначенных  $1B$ ,  $2A$ ,  $2B$  [5], обуславливая три оптические поляризованные полосы поглощения. Однако величина энергии квантов этих переходов далеко не соответствует экспериментальным значениям [3]. Экспериментально достоверно были обнаружены только две полосы поглощения, а третья полоса с энергией 6.3 эВ [6], по нашему мнению, проблематична. Более совершенная теория уже дает шесть полос поглощения в УФ и ВУФ областях спектра [7], две из которых хорошо коррелируют с экспериментальными значениями; остальные полосы, насколько известно, не были обнаружены.

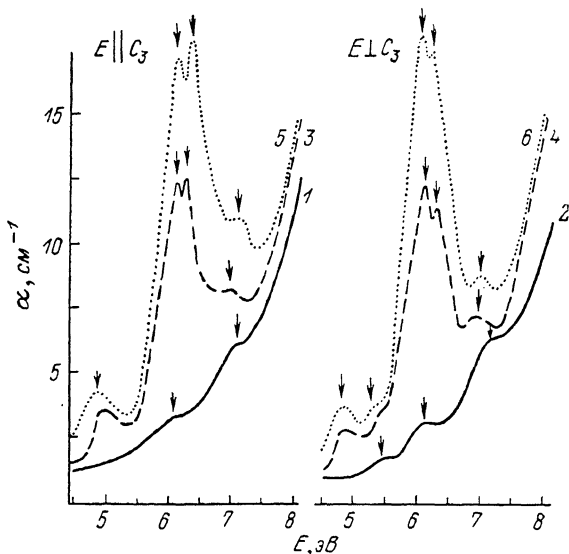
В данной работе впервые сообщается об обнаружении полосы ОП с энергией 6.3 и 7 эВ  $F^+$ -центра, которые были предсказаны в [7]. Цель была достигнута благодаря использованию синхротронного излучения (СИ), которое характеризуется, как известно, непрерывным спектром, большой интенсивностью и высокой степенью поляризации.

Измерение спектров ОП проводилось на синхротроне при энергии ускоренных электронов  $E=4.5$  ГэВ и токе 8—10 мА. В работе использован видоизмененный монохроматор нормального падения для ВУФ области спектра ВМР-2 с двухлучевой системой регистрации, при этом сохранена поляризация СИ [8]. Управление экспериментом автоматизировано с помощью ЭВМ «Электроника-60В». Программа для ЭВМ написана на языке Паскаль. Ошибка по измерению коэффициента поглощения составляла  $\pm 10\%$ , а по энергии 0.05—0.1 эВ. Образцы, выращенные

методом горизонтальной направленной кристаллизации, имели размеры  $10 \times 15 \times 1.5$  мм. Оптическая ось лежала в большой поверхности образцов.

На рисунке приведены спектры ОП необлученных (1, 2) и облученных (3—6) электронами с энергией 50 МэВ кристаллов корунда. Из кривой 1 видно, что в спектре ОП достаточно четко проявляются полосы 6.2 и 7.1 эВ [9]. При ортогональной ориентации электрического вектора  $E$  СИ относительно кристаллографической оси  $C_3$  проявляется полоса 5.4 эВ (кривая 2), а также области поглощения 6—6.4 и 7—7.3 эВ, причем интенсивность поглощения первой области уменьшается, а второй несколько увеличивается.

Так как величина  $A = \alpha_{\parallel} / \alpha_{\perp}$  для полосы 5.4 эВ ОП намного меньше единицы, то это соответствует поглощению  $F^+$ -центра [5, 6, 10]. Появление в спектре ОП областей 6—6.4 и 7—7.3 эВ можно связать с наличием



Спектры ОП корунда до (1, 2) и после облучения дозами  $1.7 \cdot 10^{17}$  (3, 4),  $6 \cdot 10^{17}$  эл/см<sup>2</sup> (5, 6).

близко расположенных по энергии нескольких полос поглощения, которые имеют различную анизотропность. После облучения в спектре ОП (кривые 3—6) появляются полосы 4.86, 6.1, 6.3 и 7 эВ. Полоса 4.86 эВ изотропна, так как в пределах экспериментальных ошибок  $A=1$ . Интенсивность полосы 5.4 эВ увеличивается, а анизотропность не меняется. Бесструктурная область 6—6.3 эВ ОП после облучения преобразовалась в спектр с четко выраженными полосами поглощения на 6.1 и 6.3 эВ. При этом для полосы 6.1 эВ  $A < 1$ , а для 6.3 эВ  $A > 1$ . Полоса 6.1 эВ обусловлена  $F$ -центрами, а полоса 6.3 эВ  $F^+$ -центрами [7]. Необходимо отметить, что в области 6—6.3 эВ для необлученных кристаллов были обнаружены полосы 6.05 и 6.2 эВ, которые приписывались  $F$ - и  $F^{2+}$ -центрам (анионная вакансия) [11]. При облучении кристалла упругие взаимодействия электронов с узельными ионами приводят к их смещению и образованию анионных и катионных вакансий. Анионные вакансии захватывают либо один, либо два электрона и становятся  $F^+$ - и  $F$ -центрами соответственно. Кроме этого, происходят неупругие взаимодействия, которые изменяют зарядовое состояние дорадиационных дефектов (например,  $F^{2+} + e \rightarrow F^+$  или  $F^{2+} + 2e \rightarrow F$ ), что и приводит к образованию  $F^+$ - и  $F$ -центров, а также центров других типов. Благодаря этому происходит преобразование дорадиационных полос ОП.

Природа полосы ОП в области 7—7.3 эВ (кривая 2) носит дискуссионный характер. В этой области ОП имеют также полосы поглощения ионы группы железа (Cr, Fe, Ni, Co), как и «чистый» корунд [12]. Поскольку

полосы поглощения указанных ионов по энергии очень близки, точное определение тонкой структуры в спектре ОП в этой области затруднительно. Однако после облучения полоса с энергией 7 эВ для случая  $E_{\perp}C_3$  стала более четкой, показывая, что в области 7—7.3 эВ в необлученных кристаллах существует не одна, а несколько близко расположенных полос, отличающихся своими изотропными свойствами. Облучение приводит к увеличению интенсивности полосы поглощения 7 эВ и к возможно уменьшению других полос. Поэтому можно предположить, что полоса 7 эВ также связана с нарушением узельных ионов кристалла. Наиболее вероятно, что эта полоса связана с  $F^+$ -центрами [7].

#### Л и т е р а т у р а

- [1] *Войтович А. П., Гринкевич В. Э., Кононов В. А.* и др. ЖПС, 1985, т. 43, № 6, с. 932—937.
- [2] *Мартынович В. Ф., Токарев А. Г., Григоров В. А.* ЖТФ, 1985, т. 55, № 2, с. 411—442.
- [3] *Lee K. H., Crawford J. H. Jr.* Phys. Rev. B, 1977, vol. 15, N 8, p. 4065—4070.
- [4] *Atabekyan R. R., Vinetskii V. L., Gevorgyan V. A.* et al. Phys. St. Sol. (b), 1985, vol. 129, N 1, p. 321—329.
- [5] *La S. V., Bastram R. H., Cox R. T. J.* Phys. Chem. Sol., 1973, N 6, vol. 34, p. 1079—1086.
- [6] *Evans B. D., Stapelbroek M.* Phys. Rev. B, 1978, vol. 18, N 12, p. 7089—7098.
- [7] *Choi S. I., Takeuchi T.* Phys. Rev. Lett., 1983, vol. 50, N 19, p. 1474—1477.
- [8] *Арутюнян В. В., Григорян Н. Е., Ерицян Г. Н.* и др. Препринт ЕФИ-988 (38). Ереван, 1987.
- [9] *Ильмас Э. Р., Кузнецов А. И., Мерилоо И. А.* ЖПС, 1976, т. 24, № 4, с. 643—648.
- [10] *Evans B. D., Stapelbroek M.* Sol. St. Commun., 1980, vol. 33, N 7, p. 765—770.
- [11] *Геворкян В. А., Езоян Р. К., Ерицян Г. Н.* Тез. докл. VI Всес. конф. по радиационной физике и химии ионных кристаллов. Рига, 1986, ч. I, с. 133.
- [12] *Кулагин Н. А., Литвинов Л. А., Разманова В. О.* ЖПС, 1987, т. 46, № 6, с. 969—973.

Поступило в Редакцию  
12 января 1988 г.