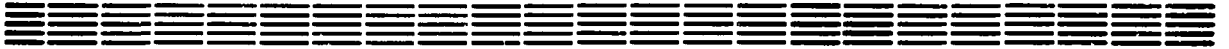


Препринт ЕФИ-1183(60)-89

ԵՐԵՎԱՆԻ ՖԻԶԻԿԱԶԻ ԻՆՏԻՏՈՒՏ
ЕРЕВАНСКИЙ ФИЗИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
YEREVAN PHYSICS INSTITUTE



В.В. АРУТЮНЯН, В.А. ГЕВОРКЯН, Н.Е. ГРИГОРЯН,
Г.Н. ЕРИЦЯН

ВЛИЯНИЕ ЭЛЕКТРОННОГО ОБЛУЧЕНИЯ НА ЗОННУЮ
СТРУКТУРУ МОНОКРИСТАЛЛА $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$

ЦНИИатоминформ
ЕРЕВАН - 1989

Ն.Ե. ԳՐԻԳՈՐՅԱՆ, Վ.Ա. ԳԵՎՈՐԳՅԱՆ, Հ.Ն. ԵՐԻՑՅԱՆ,
Վ.Վ. ՀԱՐՈՒԹՅՈՒՆՅԱՆ

ԷԼԵԿՏՐՈՆԱՅԻՆ ՃԱՌԱԳԱՑՔՄԱՆ ԱԶԴԵՑՈՒԹՅՈՒՆԸ $\propto -Al_2O_3$
ՄԻԱԲՑՈՒԻ ԵՂՆԵՐԻ ԳՈՏՈՒ ԿԱՌՈՒՑՎԱԾՔԻ ՎՐԱ

Սինթրոտրոնային խիստ ըկեռացված մառազայթման օգտագործմամբ չափված են 50 ՄէՎ էլեկտրոններով մառազայթված և շմառազայթված մաքուր շափյուղայի միաբյուրեղների կլանման, անդրադարձման և Cr^{3+} իոնների գրգռման երանգանիները՝ վակուումային ուլտրամանուշակագույն սիրույթում: Դիտված է օպտիկական շերտի անիզոտրոպություն՝ կախված բյուրեղի C_3 առանցքի նկատմամբ \vec{E} էլեկտրական վեկտորի ուղղվածությունից: Ցույց է տրված, որ 6,3 և 7 էՎ կլանման շերտերը պայմանավորված են F^+ կենտրոնի էլեկտրոնային ներքին անցումներով: Նաև դիտված է, որ էլեկտրոնային մառազայթումը բերում է էքսիտոնի շերտի շեղմանը, ինչպես նաև անդրադարձման երանգանիների շերտերի շեղմանն ու ինտենսիվության փոքրացմանը: Արամբրս-Արոնինգի դիսպերսիայի հարաբերության օգնությամբ ստացվել են շափյուղայի բյուրեղների որակյալ օպտիկական երանգանիների ֆունկցիաները: Նկատվել է, որ պլազմոնի էներգիայի կորուստը նույնպես կախված է C^3 -ի նկատմամբ \vec{E} -ի լողմնորոշումից: Դիտված երևույթները բացատրվել են $2p$ էլեկտրոնների շերտերի խտության փոփոխմամբ:

Երևանի ֆիզիկայի ինստիտուտ

Երևան 1989



УДК 535.534.2:539.2

В. В. АРУТЮНЯН, В. А. ГЕВОРКЯН, Н. Е. ГРИГОРЯН,
Г. Н. ЕРИЦЯН

ВЛИЯНИЕ ЭЛЕКТРОННОГО ОБЛУЧЕНИЯ НА ЗОННУЮ
СТРУКТУРУ МОНОКРИСТАЛЛА α - Al_2O_3

С использованием высокой степени поляризации синхротронного излучения измерены спектры поглощения, отражения и возбуждения люминесценции в вакуумной ультрафиолетовой (ВУФ) области номинально чистого монокристалла корунда, облученного 50 МэВ-ными электронами. Наблюдена сильная анизотропия полос оптического поглощения (ОП) от ориентации электрического вектора \vec{E} к оптической оси C_3 . Электронное облучение приводит к образованию F^+ -центра (6,3 и 7 эВ полос) и смещению максимума экситонного пика, а также проявлению анизотропии высокоэнергетичных полос в спектрах отражения. Сильный экситонный пик наблюдается в спектре возбуждения люминесценции, это объясняется переносом энергии ионами Cr^{3+} при экситонном возбуждении. С помощью дисперсионного соотношения Крамерса-Кронига получены высококачественные спектры оптических функций необлученных и облученных кристаллов корунда. Величина энергии плазмона и потери энергии также зависят от ориентации \vec{E} к C_3 . Наблюдаемые эффекты объясняются изменением плотности состояний электронов 2p-зоны, т.е. эти изменения происходят из-за увеличения концентрации дефектов в приповерхностных слоях в результате радиационного воздействия.

Ереванский физический институт
Ереван 1989

V.V.HARUTYUNIAN, V.A.GEVORGIAN, N.E.GRIGORIAN,
H.N.ERITSIAN

ELECTRON IRRADIATION EFFECT ON THE BAND STRUCTURE
OF α - Al_2O_3 SINGLE CRYSTAL

With the use of highly polarized synchrotron radiation the absorption, reflection and luminescence spectra of a rated pure corundum single crystal irradiated with 50 MeV electrons are measured in the vacuum ultra-violet region. A strong anisotropy of the absorption optical bands according to orientation of the electric vector \vec{E} to the optical axis C_3 is observed. Electron irradiation leads to formation of the F^+ centre (the 6.3 and 7 eV bands), displacement of the exciton peak maximum, and an anisotropy of high-energy bands in the reflection spectra. A strong exciton peak is observed in the luminescence excitation spectrum, which is attributed to the energy transfer by the Cr^{3+} ions during exciton excitation. Using the Kramers-Kronig analysis the spectra of optical functions are obtained for un-irradiated corundum crystals. The plasmon energy and energy losses also depend on the orientation of \vec{E} to C_3 . The effects observed are due to changes in the density of states of the 2p-band electrons.

Yerevan Physics Institute

Yerevan 1989

Монокристалл $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$, облученный высокоэнергетичными частицами, является одним из важнейших практических диэлектриков, используемых в качестве активных элементов в квантовых оптических генераторах, перестраиваемых по частоте в широкой области спектра (видимой и близкой инфракрасной) [1,2], пассивных затворов [3], детекторов ионизирующего излучения [4].

Особый интерес представляет изучение оптических свойств корунда в вакуумной ультрафиолетовой области спектра и влияния центров окраски, возникающих при облучении, на его электронно-энергетическую структуру (ЭЭС). В настоящее время имеется ряд работ, посвященных изучению ЭЭС в "чистом" $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ [5-9] и с помощью синхротронного излучения [10,11].

Целью данной работы является изучение полос оптического поглощения в областях 6,3 и 7 эВ F^+ - центра, спектров отражения, возбуждения люминесценции и влияния электронного облучения на зонную структуру корунда с использованной синхротронного излучения.

I. Методика эксперимента и обработка результатов

Для измерения спектров поглощения был использован монохроматор нормального падения для ВУФ области спектра с двухлучевой системой регистрации - ВМР-2, при этом сохранена поляризация СИ [12] .

В интервале энергий 5-30 эВ измерялись спектры отражения и возбуждения люминесценции на ускорителе С-60 [13] . В эксперименте использовалась установка на базе монохроматора по модифицированной схеме Водсворта без щели, имеющего разрешение не хуже 1,0 нм. Ошибка измерения спектров по интенсивности в низкоэнергетической области составляла $\pm 5\%$, в выс энергетической - $\pm 3\%$ а по энергии - около $\pm 0,1$ эВ.

Для измерения были использованы образцы, выращенные методом горизонтально направленной кристаллизации (ГНК) с размерами $10 \times 15 \times 1,7$ мм. Оптическая ось лежала на большой поверхности образцов. Образцы вырезались с одного куска - высококачественного кристалла. Большие грани пластинки вручную шлифовались пудрой карбида бора, алмазными пастами, полировка производилась пастой АМ-1 (зерно 1 мк). Готовые грани имели довольно хорошую зеркальную поверхность и пластинка была пригодна для измерения. Перед съемом спектров образцы были предварительно обработаны соляной кислотой, тщательно промыты дистиллированной водой и высушены.

Облучение образцов производилось высокоэнергетичными электронами с энергией 50 МэВ, охлаждались парами жидкого азота. Доза облучения составляла $6 \cdot 10^{17}$ эл/см². Спектры были измерены при 295 К.

Оптические функции монокристалла $\alpha\text{-Pb}_2\text{O}_3$ рассчитывались по соотношению Крамерса-Кронига [14,15]. Для нахождения фазового интеграла (E - энергия)

$$\theta(E) = \int_{\pi}^{\infty} \frac{\ln R(x) - \ln R(E)}{E^2 - x^2} dx, \quad (1)$$

где $-\pi \leq \theta \leq 0$,

область интегрирования разбивалась на три участка: участок энергий от 5 до 30 эВ, где измеряли отражение; участок (0-5 эВ) и участок (30 - ∞). Экстраполяция в область вне пределов измерения ($E < 5$ и $E > 30$) задавалась степенными функциями [16],

$$R(x) = R_5 (x/5)^\alpha; \quad R(x) = R_{30} (x/30)^{-\beta}. \quad (2)$$

Исходя из этого, интеграл (1) можно представить в виде суммы трех слагаемых

$$\theta(E) = J_1 + J_2 + J_3. \quad (3)$$

Интеграл J_2 вычисляли по формуле Симпсона по заданному количеству шагов N (четное число) в интеграле интегрирования 5-30 эВ.

Для определения параметров α и β (2) составляли систему уравнений в области, где $\theta(E) = 0$, а реперные значения коэффициентов отражения определяли из измеряемых независимым образом показателей преломления по формуле Френеля. После решения системы краевых уравнений относительно α и β вычисляли $\theta(E)$. Все расчеты выполняли на ЭВМ "Электроника-60 В"

с использованием языка ПАСКАЛЬ.

Из вычисленных $\theta(E)$ нетрудно определить значение оптических функций n и k

$$n(E) = 1 - R / (1 + R - 2\sqrt{R} \cos \theta), \quad (4)$$

$$k(E) = (-2\sqrt{R} \sin \theta) / (1 + R - 2\sqrt{R} \cos \theta).$$

Для нахождения межзонных энергетических интервалов рассчитывали действительную (ϵ_1) и мнимую (ϵ_2) компоненты диэлектрической проницаемости $\epsilon_1 = n^2 - k^2$; $\epsilon_2 = 2nk$; $\epsilon = \epsilon_1 + i\epsilon_2$

Эффективное число электронов в области $0 - E$ определяли формулой

$$N_{\text{эфф.}} = \frac{m}{2\hbar\pi^2 Ne^2} \int_0^E E \epsilon_2 dE, \quad (5)$$

где m, e - масса покоя и заряд электрона. N - число молекул в единице объема. Для $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ составляет $2,3 \cdot 10^{22} \text{ см}^{-3}$

2. Обсуждение результатов

На рис. I приведены спектры поглощения необлученных (1,2) и облученных (3-6) кристаллов корунда. Из кривой 1 видно, что в спектре ОП достаточно четко проявляются полосы 6,2 и 7,1 эВ. При ориентации $\vec{E} \perp C_3$ 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. После облучения в спектре ОП (кривые 3-6)

появляются полосы 4,86; 6,1; 6,3 и 7 эВ. Полосы 4,86; 6,3 и 7 эВ обусловлены F^+ - центром, а полоса 6,1 эВ - F - центром [17]. В спектрах отражения на рис.2а и 2б также проявляются полосы 6,0; 7 эВ при $\vec{E} \perp C_3$; 6,1; 6,5 эВ при $\vec{E} \parallel C_3$ в необлученных кристаллах. После облучения происходит смещение соответственных полос в спектрах отражения.

Отличие полос спектров отражения от полос спектров поглощения в зависимости от ориентации электрического вектора \vec{E} синхротронного излучения к оптической оси C_3 обусловлено спецификой энергетического состояния поверхности окружения, следовательно и симметрией анионных вакансий (F и F^+ - центров), локальная симметрия которых достаточно сильно отличается от объемной (точечная симметрия узельного кислорода - C_2).

Радиационное, особенно электронное, воздействие более сильно нарушает окружение приведенных центров, чем ожидается из теории упругого взаимодействия. Так как поверхность и объем оказывают взаимное действие на формирование радиационных повреждений в оксидах [18], то это сказывается как на положении центров окраски, так и на экситонном пике в необлученных кристаллах при $9,1 \pm 0,1$ эВ.

Из рис.2а и 2б (кривые 2,4) видно, что действительно, электронное облучение приводит к смещению максимума экситонного пика на 0,2 эВ в сторону больших энергий. Экситонный пик наблюдается в спектре возбуждения люминесценции в области R - линии, обусловленный ионами Cz^{3+} , концентрация которого составляла 10^{17} см⁻³. Была наблюдаена только одна узкая полоса (рис.3) в области 9 эВ. Известно, что после облучения рубина электронами

и γ - квантами, часть ионов изменяет свою валентность и становится ионами Cz^{2+} и Cz^{4+} . В работе [19] характерная полоса Cz^{4+} обнаружена в области 6,05 эВ. Появление люминесценции в области R - линии можно объяснить переносом энергии через экситонное возбуждение, т.е. разрушением экситона на свободные дырки и электроны. Последние захватываются ионами Cz^{4+} и переходят в трехвалентное возбужденное состояние $(Cz^{3+})^*$ и в конечном акте происходит следующее: $(Cz^{3+})^* \rightarrow Cz^{3+} + h\nu$ (1,76 эВ). Таким образом, максимумы 9,1 эВ в спектре отражения, возбуждения люминесценции и поглощения совпадают.

В спектрах отражения необлученного кристалла после экситонного пика проявляется сильная анизотропная полоса с максимумом около 13-13,5 эВ, на "крыле" которого наблюдается слабая полоса - 10,5 эВ.

Этот максимум находится в области фундаментального поглощения, край которого начинается от экситонного пика [9]. Данная полоса не имеет экситонной природы, так как отсутствует в спектре возбуждения люминесценции.

Группа полос 14,5; 16; 18; 20,5 в спектре $R(E)$ в случае $\vec{E} \parallel C_3$ проявляется более четко, чем при $\vec{E} \perp C_3$. Слабые полосы с энергиями 26 и 26,5 эВ видны при обеих ориентациях электрического вектора относительно C_3 . Наблюдаемая группа полос хорошо выявляется и в вычисленных спектрах n, k ($k = 0$ при 8,2 эВ), ϵ_1 ; ϵ_2 , рис.4а и 4б, рис.5а и 5б. Группа максимумов в отражении в области 13-21,5 эВ обусловлена разрешенными переходами из Γ точки Бриллюэна, которая образована 2p - орбиталями анионов O^{2-} .

Для выяснения межзонной комбинированной плотности состояний $\epsilon_2 E^2$ и функции энергетических потерь - $\text{Im}(\epsilon)^{-1}$ приведены соответствующие расчеты (рис.6 и 7). Так как величина - $\text{Im}(\epsilon)^{-1}$ пропорциональна вероятности потери энергии "квазисвободных" электронов газа в $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$, которая характеризует максимальное колебание энергии плазмона. Из рис.7 видно, что в случае $\vec{E} \parallel C_3$, энергия плазмона равна 26 эВ, а при $\vec{E} \perp C_3$ достигает величины 26,5 эВ, причем величина потери энергии также зависит от ориентации. В [7] энергия плазмона при неполяризованном свете определена 26 эВ, а в [13] - 25,8 эВ.

Из правила сумм с помощью формулы (5) вычислено эффективное число электронов (рис.8). В области энергии плазмона $N_{\text{эфф}}$ достигает 14 электронов на "молекулу" Al_2O_3 , имеющую 18 валентных 2р-электронов.

После электронного облучения происходит смещение и уменьшение $R(E)$ в области 13-25 эВ. Соответственно с этим претерпевают изменения также спектры оптических функций. Из рис.5а и 5б видно, что величины ϵ_2 , $\text{Im}(\epsilon)^{-1}$ сильно зависят не только от ориентации \vec{E} к C_3 , но и от электронного воздействия. При $\vec{E} \perp C_3$, ϵ_2 и потери энергии минимальны.

Таким образом, из результатов исследования можно выделить два эффекта: поляризационный и радиационный.

Поляризационные явления, как приведено в [9], следует связывать с расщеплением валентных 2р-состояний кислорода в полях низкой симметрии решетки корунда, и наибольшая плотность межзонных состояний реализуется для энергий $h\nu \approx 13$ эВ, а в наших расчетах когда $\vec{E} \parallel C_3$, энергия равна 14 эВ для необлученно-

го кристалла, а при $\vec{E} \perp C_3$ составляет около 17,5 эВ. После облучения наибольшая плотность состояний достигается для энергий 13 и 19 эВ. Это, по-видимому, связано с изменениями в переходах с верхнего интенсивного максимума в плотности состояний 2p-зоны, т.е. эти изменения происходят из-за увеличения концентрации дефектов в приповерхностных слоях.

Детальная идентификация вышесказанного требует дальнейшего исследования ЭЭС.

Авторы выражают благодарность Бельскому А.Н., Колобанову В.Н. за предоставление возможности проведения измерения спектров отражения и Езояну Р.К. за помощь в препаративной работе.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мартинович Е.Ф., Барыщков В.И., Григоров А.В. Генерация лазерного излучения в видимой области спектра центрами окраски Al_2O_3 при комнатной температуре. Письма в ЖТФ, 1985, т.11, № 4, с.200-202.
2. Войтович А.И., Гринкевич В.Э., Кононов В.А. и др. Особенности генерации излучения в ближней ИК-области спектра лазером на кристалле сапфира с радиационными центрами окраски. ЖПС, 1985, т.43, № 6, с.932-937.
3. Михнов С.А., Усков В.И., Корда И.М. и др. Пассивный затвор для лазера на рубине из радиационного окрашенного лейкосапфира. Письма в ЖТФ, 1984, т.10, вып.4, с.219-221.
4. Аксельрод М.С., Мильман И.И., Кравецкий Д.Я. и др. Дозиметрические характеристики ТЛ-детекторов на основе монокристаллов профилированного анионнодефектного $\alpha-Al_2O_3$. Тезисы докладов Шестой Всесоюзной конференции по радиационной физике и химии ионных кристаллов, часть II, с.483-484.
5. Ильмас Э.Р., Кузнецов А.И. Фотопроводимость Al_2O_3 в области края собственного поглощения. ФТТ, 1972, т.14, в.5, с.1464-1468.
6. Кузнецов А.И., Ильмас Э.Р. Отражение кристаллов Al_2O_3 от граней (1011) и (0001) в области 4,5-14,5 эВ. ФТТ, 1975, т.17, в.7, с.2132-2133.
7. Ditchfield R.W. Measurement and Interpretation of the Plasmon Energy in Alumina. Solid State Communications, 1976, vol.19, pp.443-444.

8. Balzarotti A., Bianconi Electronic Structure of Aluminium Oxide. *Phys.Stat. sol.(b)*, 1976, vol.76, pp.689-694.
9. Абрамов В.Н., Карин М.Г., Кузнецов А.И., Сидорин К.К. Электронная энергетическая структура и оптические свойства Al_2O_3 , ФТТ, 1979, т.21, вып.1, с.80-86
10. Hademan H.J., Cudat W., Kunz C. Optical Constants from the Far Infrared to the X-Ray Region: Al, Cu and Al_2O_3 . DESY SR-74/7.
11. Мелешкин Б.Н., Михайлин В.В., Орановский В.Е. и др. Использование синхротронного излучения для исследований люминесценции кристаллов. Труды ФИАН СССР, 1975, т.80, с.140-173.
12. Арутюнян В.В., Григорян Н.Е., Ерицян Г.Н. и др. Модернизация монохроматора ВМР-2 и его использование на канале синхротронного излучения. Препринт ЕФИ-988(38)-87, Ереван, 1987.
13. Александров Ю.М., Колобанов В.Н. и др. Монохроматор нормального падения для работы с вакуумным ультрафиолетовым излучением синхротрона ФИАН на 680 МэВ в области длин волн 400-2500 А. Препринт ФИАН-164, 1979.
14. Arakawa E.T., Williams M.W. Optical Properties of Aluminium Oxide in the Vacuum Ultraviolet. *J.Phys. Chem.Solids*, 1968, vol.29, pp.735-744.
15. Довгий Я.О., Китык И.В., Рудь Н.А. Структура оптических спектров и параметры энергетических зон сложных кристаллов CdV_2 при 77 К. Неорганические материалы, 1985, т.21, № 5, с.864-869.

16. Тульвинский В.Б., Терентьев Н.И. Относительно экстраполяции спектра отражения в методе Крамерса-Йронига. Оптика и спектроскопия, 1970, т.28, № 5, с.894-
17. Арутюнян В.В., Геворкян В.А., Григорян Н.Е. и др. Исследование оптического поглощения F^+ -центра в корунде с использованием синхротронного излучения. ФТТ, 1988, т.30, вып.8, с.2307-2309.
18. Кортюв В.Н. Шестая Всесоюзная конференция по радиационной физике и химии ионных кристаллов. Рига, 1986, с.27-28.
19. Атабекян Р.Р., Геворкян В.А., Езоян Р.К. и др. Дефекты и центры окраски, наведенные в корунде и рубине высокоэнергетичными электронами. II. О центрах окраски рубина, облученного электронами малых доз. Препринт ЕФН-770(85)-84, Ереван, 1984.

Рукопись поступила 14 февраля 1989 г.

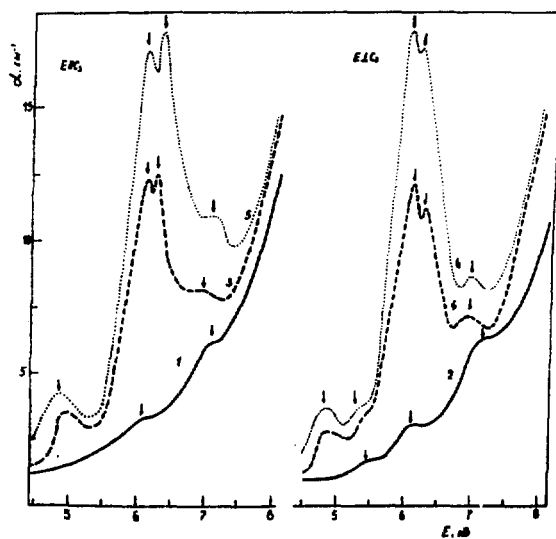


Рис. I

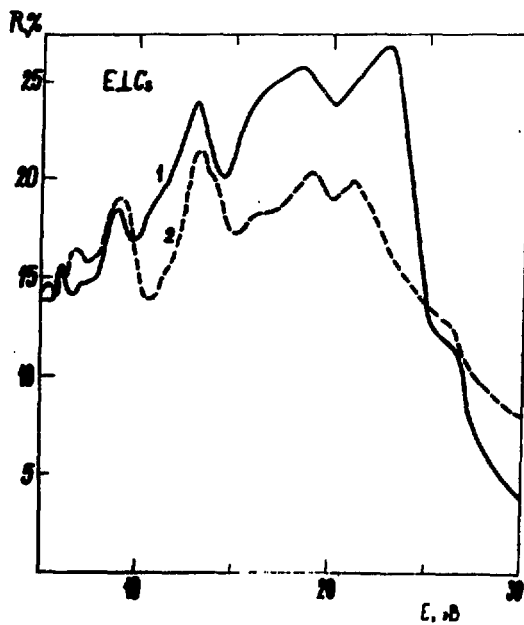


Рис.2а

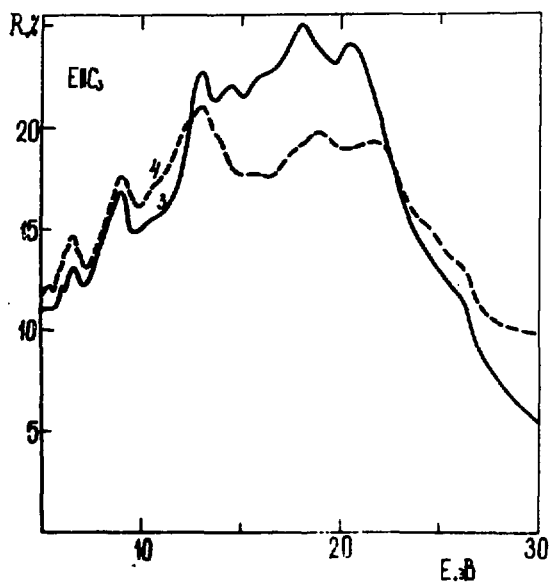


Рис.26

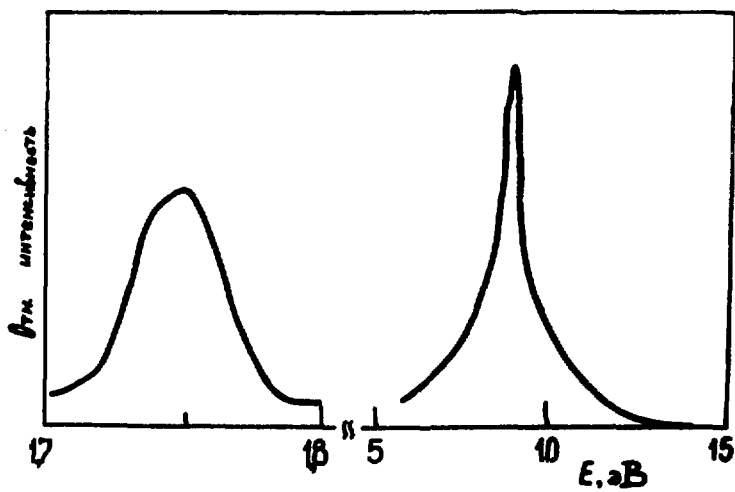


Рис.3

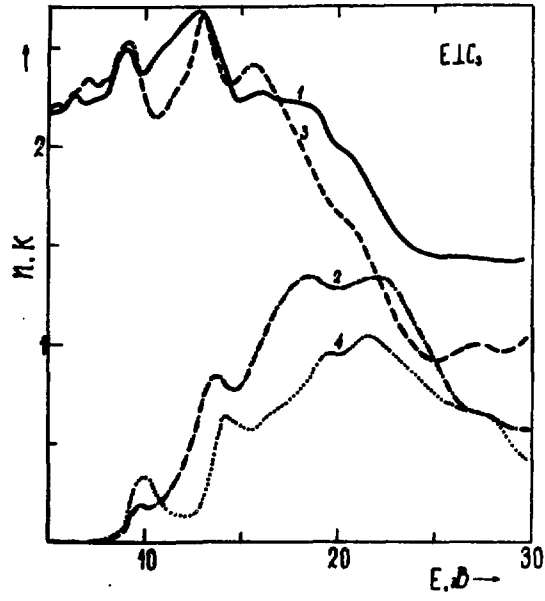


Рис. 4а

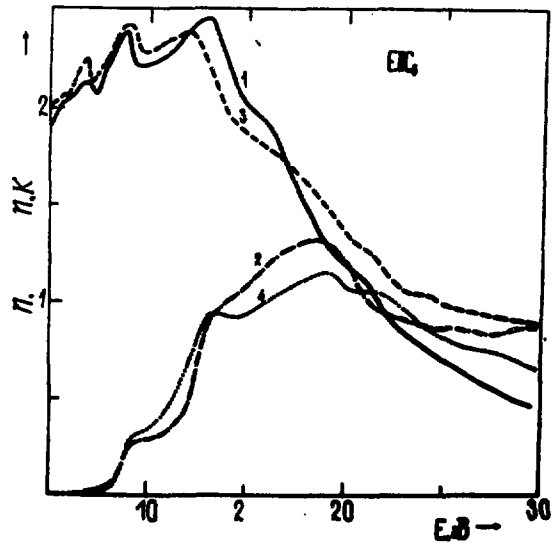


Рис. 4б

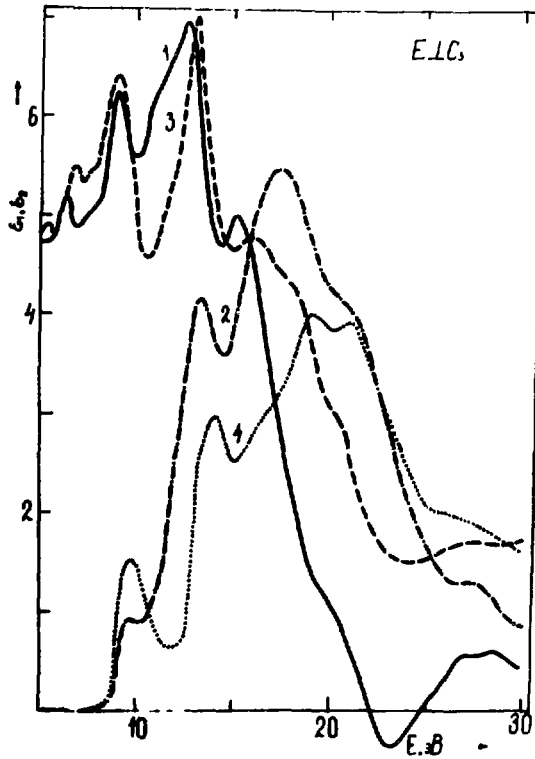


Рис. 5а

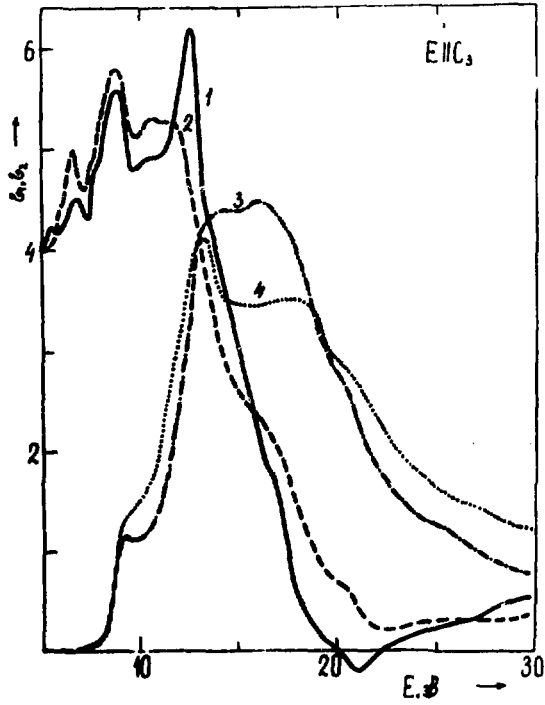


Рис. 5б

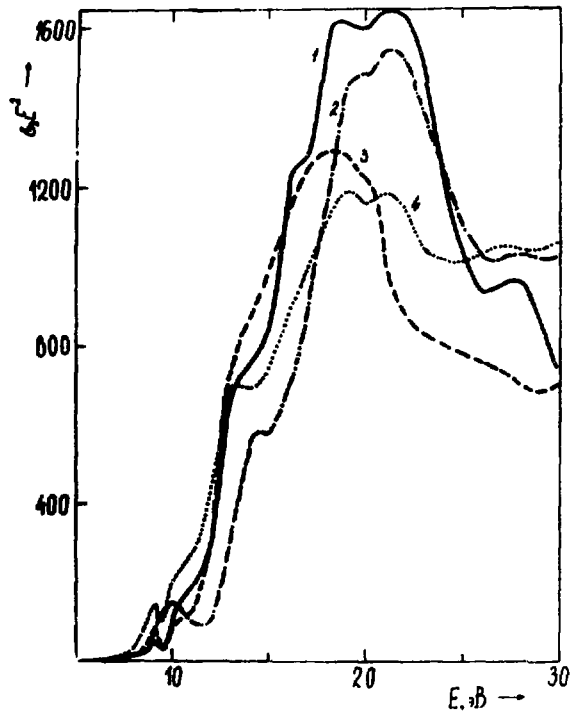


Рис. 6

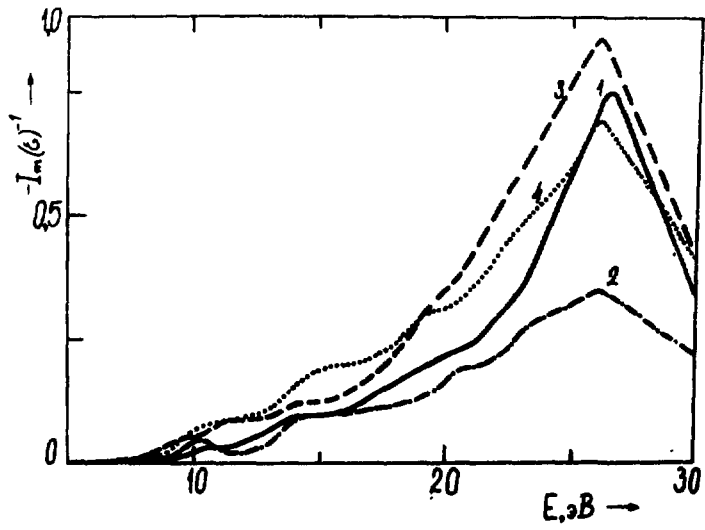


Рис. 7

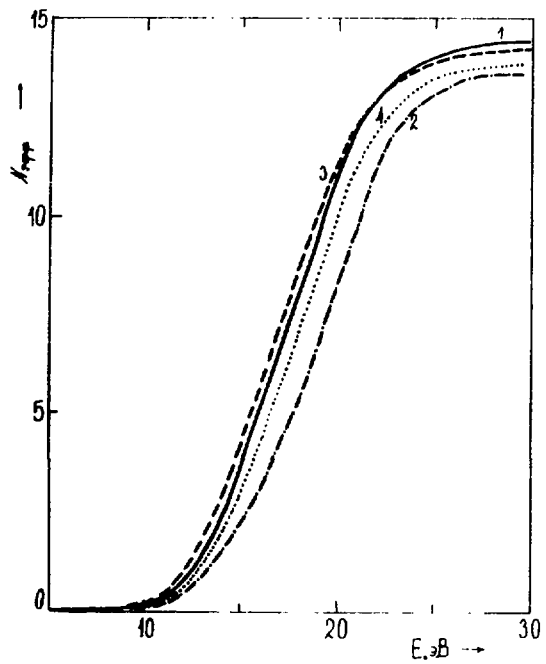


Рис. 8

ПОДПИСИ К РИСУНКАМ

Рис.1 Спектры ОП корунда до (1,2) и после облучения дозами $1,7 \cdot 10^{17}$ (3,4), $6 \cdot 10^{17}$ эл/см² (5,6).

Рис.2 Спектры отражения

а) 1 - необлученный; 2 - облученный дозами $6 \cdot 10^{17}$ эл/см²;

б) 3 - необлученный; 4 - облученный.

Рис.3 Спектр возбуждения люминесценции облученного кристалла корунда ($\vec{E} \parallel C_3$).

Рис.4 Оптические константы монокристалла $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ (а, б):

1, 2 - необлученный; 3, 4 - облученный.

Рис.5 Диэлектрические константы монокристалла $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ (а, б):

1, 2 - необлученный; 3, 4 - облученный.

Рис.6 Спектральная зависимость межкомбинированной плотности состояний от энергии фотонов

1, 3 - необлученный: $\vec{E} \perp C_3$ и $\vec{E} \parallel C_3$;

2, 4 - облученный: $\vec{E} \perp C_3$ и $\vec{E} \parallel C_3$.

Рис.7 Функция характеристических потерь корунда:

1, 3 - необлученные: $\vec{E} \perp C_3$ и $\vec{E} \parallel C_3$;

2, 4 - облученные: $\vec{E} \perp C_3$ и $\vec{E} \parallel C_3$.

Рис.8 Эффективное число электронов молекул в $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$:

1, 3 - необлученные: $\vec{E} \perp C_3$ и $\vec{E} \parallel C_3$

2, 4 - облученные: $\vec{E} \perp C_3$ и $\vec{E} \parallel C_3$.

В.В. АРУТЮНЯН, В.А. ГЕВОРМЯН, Н.Е. ГРИГОРЯН, Г.Н. ЕРИЦЯН
ВЛИЯНИЕ ЭЛЕКТРОННОГО ОБЛУЧЕНИЯ НА ЗОННУЮ СТРУКТУРУ
МОНОКРИСТАЛЛА α - Al_2O_3

Редактор Л.П. Мукаян

Технический редактор А.С. Абрамян

Подписано в печать 14/УШ-89г. ВФ-06139 Формат 60x84/16
Офсетная печать. Уч.изд.л. 0,8 Тираж 299 экз. Ц.10 к.
Зак. тип. № 1312 Индекс 3649

Отпечатано в Ереванском физическом институте
Ереван 36, ул. Братьев Алиханян, 2

**The address for requests:
Information Department
Yerevan Physics Institute
Alikhanian Brothers 2,
Yrean, 375036
Armenia, USSR**

ИНДЕКС 3649



ЕРЕВАНСКИЙ ФИЗИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

We regret that some of the pages in the microfiche copy of this report may not be up to the proper legibility standards, even though the best possible copy was used for preparing the master fiche