

ЭЛЕКТРОПОЛЕВОЙ ЭФФЕКТ В ЛЮМИНЕСЦЕНЦИИ α - Al_2O_3

А.С. Поршнягин, В.С. Кортков,
И.И. Мильман, М.С. Аксельрод

В настоящее время проявляется значительный интерес к разработке лазерных и дозиметрических материалов на основе центров окраски в монокристаллическом лейкосапфире [1, 2]. В этой связи актуальным представляется изучение люминесцентных свойств этих материалов при одновременном воздействии физических полей различной природы [3].

В работе изучено влияние внешнего электрического поля на рентгенолюминесценцию и термовысвечивание α - Al_2O_3 , выращенного в сильновосстановительных условиях. Образцы размером 10×10 мм² и толщиной от 0,06 до 1,0 мм по данным измерения спектров оптического поглощения содержали 10^{16} – 10^{17} см⁻³ анионных вакансий (F-центров). Для возбуждения люминесценции применялось рентгеновское излучение (50 кВ, Со-анод), мощность экспозиционной дозы на образце варьировалась от $2,5 \cdot 10^{-5}$ до $5 \cdot 10^{-2}$ Кл·кг⁻¹·с. Для подачи электрического поля на грани образцов напылялись контакты из алюминия. Часть измерений проводилась с накладными электродами из фольги, отделенными от кристалла тонкой тефлоновой пленкой. При этом тип электродов на полученные результаты влияния не оказывал. Напряженность электрического поля между обкладками варьировалась от 10^3 до $4 \cdot 10^5$ В см⁻¹.

Кинетика рентгенолюминесценции в электрическом поле

В спектре стационарной РЛ образцов преобладает широкая бесструктурная полоса свечения с максимумом при 3,0 эВ, обусловленная излучательными переходами в F-центрах [4]. Поэтому ниже будут рассматриваться закономерности свечения только в этой полосе.

При подаче импульса электрического поля на кристалл наблюдается всплеск РЛ, кинетика изменения которой представлена на рис. 1. В момент подачи поля напряженностью $4 \cdot 10^5$ В·см⁻¹ интенсивность свечения возрастает в 2,4 раза. По окончании переходного процесса устанавливается значение, на 30% превышающее интенсивность РЛ в отсутствие поля I_0 . При выключении поля свечение снова скачкообразно усиливается до величины $2,1 \cdot I_0$. Переходные процессы при включении и выключении поля протекают по экспоненциальному закону с одинаковой постоянной времени, обратнопропорциональной мощности дозы. Эффект усиления РЛ пропорционален напряженности поля, начиная с порогового значения $(7-8) \cdot 10^3$ В·см⁻¹. Кинетика отклика РЛ на импульс электрического поля не зависит от температуры в диапазоне 80–380 К. При более высоких температурах влияние поля исчезает. Смена направления электрического

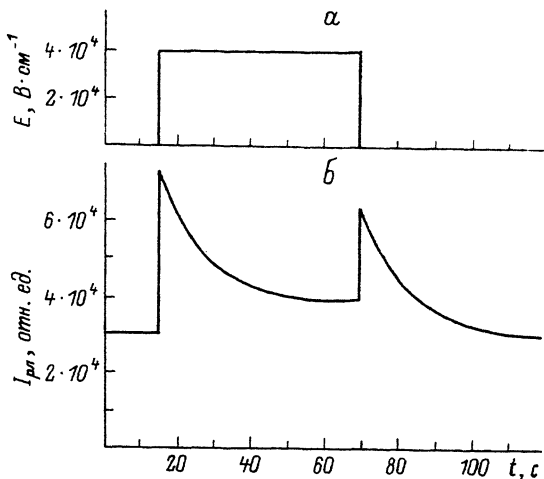


Рис. 1. Временные диаграммы внешнего электрического поля (а) и рентгенолюминесценции монокристаллов α - Al_2O_3 (б).

поля на противоположное не приводит к изменению кинетики люминесценции.

Наблюдаемый эффект не связан с электролюминесценцией, т.к. приложение поля без рентгеновского возбуждения свечение кристаллов не вызывает. Не обусловлен он и свечением микропробов между обкладками, поскольку усиление полем выхода люминесценции наблюдается только в полосе 3,0 эВ.

Захват носителей на ловушки в электрическом поле

С целью изучения захвата носителей на ловушки образцы облучались фиксированной дозой рентгеновского излучения при температуре жидкого азота. Одновременно измерялась светосумма рентгенолюминесценции. Затем в режиме линейного нагрева со скоростью $0,1 \text{ K}\cdot\text{с}^{-1}$ измерялись светосуммы, высвечиваемые в пиках термостимулированной люминесценции (ТСЛ) при 220, 310 и 430 К. Серия циклов облучение-высвечивание показала высокую воспроизводимость результатов (нестабильность измеряемых светосумм не превышала 2%).

В следующей серии измерений к образцу во время облучения прикладывалось импульсное электрическое поле напряженностью $4 \times 10^4 \text{ В}\cdot\text{см}^{-1}$ с периодом, в два раза превышающим длительность импульса, и на порядок меньшим постоянной времени переходного процесса. Термовысвечивание регистрировалось в отсутствие поля при той же скорости нагрева. По сравнению с результатами, полу-

ченными без поля, наблюдалось синхронное увеличение в $1,3^3$ раза светосуммы РЛ и светосумм, запаасаемых в термолуминесцентных пиках 220, 310 и 430 К. Включение и выключение электрического поля в отсутствие рентгеновского возбуждения не приводит к захвату носителей на ловушки.

В л и я н и е э л е к т р и ч е с к о г о п о л я н а т е р м о в ы с в е ч и в а н и е

Для изучения влияния поля на термовысвечивание в процессе линейного нагрева через каждые 5К на обкладки предварительно облученных образцов подавались импульсы высокого напряжения (длительность импульсов соответствовала изменению температуры на 2.5 К, напряженность поля между обкладками составляла $4 \cdot 10^4$ В/см⁻¹). На термовысвечивание в пиках 220 и 430 К электрическое поле влияние не оказывает. В пике 310 К наблюдаются вспышки люминесценции, соответствующие приложению поля (рис. 2). При выключении поля интенсивность ТСЛ падает ниже того уровня, который должен быть без наложения поля. Светосумма ТСЛ, высвечиваемая в этом пике, одинакова как для случая отсутствия электрического поля в процессе нагрева, так и для описанного выше случая нагрева с наложением импульсов поля. Значение светосуммы не изменяется при нагреве образца с постоянно включенным полем.

После облучения образцов при комнатной температуре наблюдается фосфоресценция в F -полосе, затухающая по экспоненциальному закону. Подача электрического поля оказывает на нее такое же влияние, как на термовысвечивание в пике 310 К.

О б с у ж д е н и е р е з у л ь т а т о в

Переходные процессы, наблюдаемые в РЛ при включении и выключении электрического поля, могут быть связаны с компенсацией внешнего электрического поля внутренним, возникающим в результате направленного дрейфа свободных носителей, их захвата на ловушки и образования объемного заряда.

Обнаруженный электрополевой эффект синхронного усиления выхода рентгенолюминесценции и светосумм, высвечиваемых в термолуминесцентных пиках 220, 310 и 430 К, может быть вызван повышением в поле концентрации пар свободных носителей, создаваемых рентгеновским излучением. В [5] сообщается о возможности понижения в Al_2O_3 средней энергии генерации электронно-дырочной пары в 3-4 раза электрическим полем с напряженностью более 10^5 В/см⁻¹. Описанные экспериментальные данные находятся в соответствии с этой оценкой. В такой интерпретации факт синхронного усиления полем процессов рекомбинации носителей на F -центрах и захвата носителей на ловушки различной природы легко объяснить.

Влияние поля на процесс термовысвечивания в пике 310 К по всей вероятности определяется эффектом Пула-Френкеля.

Проведенное исследование свидетельствует о том, что при рентгеновском возбуждении монокристаллов сильновосстановленного

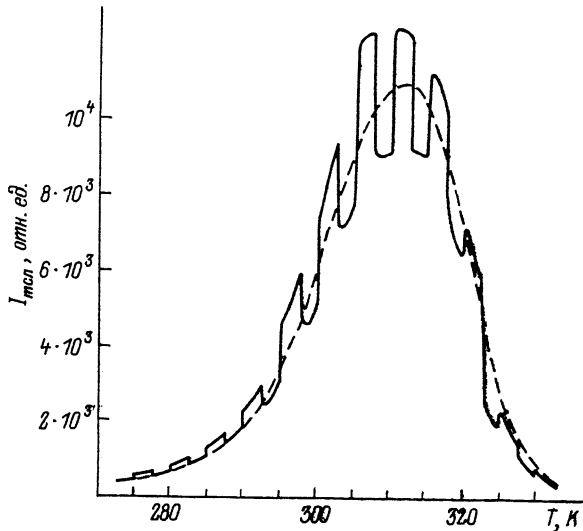


Рис. 2. ТСЛ в пике 310 К монокристаллов $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ при наложении импульсов электрического поля. Пунктиром: термовысвечивание в отсутствие поля.

$\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ электрополевой эффект наблюдается в основном на этапе генерации носителей, а при термической стимуляции — на этапе дelokализации носителей с кулоновских центров захвата.

Л и т е р а т у р а

- [1] Мартынович Е.Ф., Барышевков В.И., Григоров В.А. — Письма в ЖТФ, 1985, т. 11, в. 4, с. 200–202.
- [2] Аксельрод М.С., Мильман И.И. — Изв. АН СССР. Сер. физ., 1982, т. 46, № 12, с. 2361–2363.
- [3] Моргенштерн З.Л., Неуструев В.Б. — Оптика и спектроскопия, 1971, т. 30, в. 2, с. 361–364.
- [4] Lee K.H., Crawford J.H. — Phys. Rev. B, 1979, v. 19, N 6, p. 3217–3221.
- [5] Hughes R.C. — Phys. Rev. B, 1979, v. 19, N 10, p. 5318–5328.

Уральский политехнический институт им. С.М. Кирова, Свердловск

Поступило в Редакцию 27 апреля 1988 г.