

Радиационно-индуцированная проводимость кристаллов  $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ 

© Б.П. Адуев, Э.Д. Алукер, В.Н. Швайко

Кемеровский государственный университет,  
650043 Кемерово, Россия

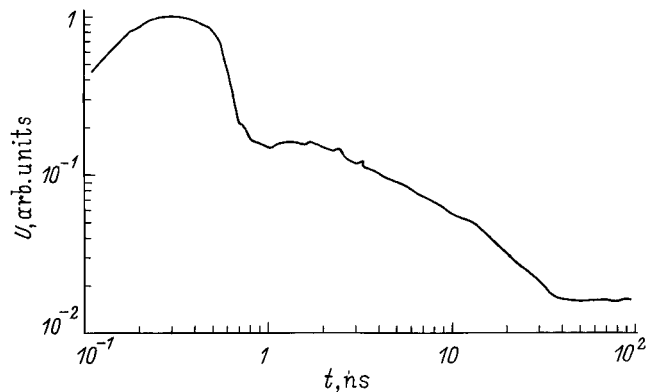
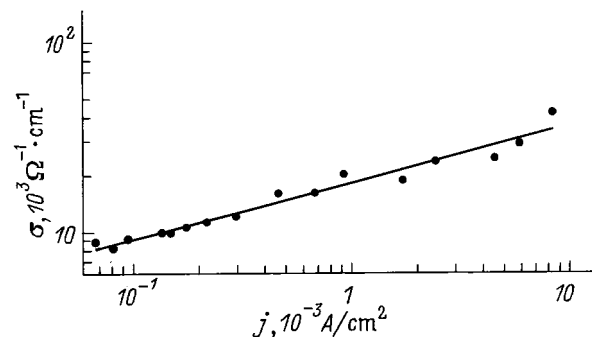
(Поступила в Редакцию 15 мая 1997 г.)

Исследована радиационно-индуцированная проводимость кристаллов  $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$  при возбуждении субнано-секундными импульсами электронного ускорителя. Обнаружено не менее трех компонентов релаксации тока проводимости. Компонента тока проводимости, безынерционно следующего за импульсом возбуждения, не наблюдается, как, например, в кристаллах NaCl, KCl. Далее следует субнано-секундный спад, не описываемый простым законом, а за ним в пределах чувствительности аппаратуры наблюдаются по крайней мере еще две составляющие релаксации тока проводимости в наносекундном диапазоне. Предполагается, что наблюдаемые компоненты релаксации тока проводимости, включая самый быстрый, обусловлены термическим освобождением носителей из ловушек и последующим перераспределением между ними, а также что второй и третий компоненты импульса тока проводимости, по-видимому, связаны с электронами.

Кристаллы  $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$  обладают широкими технологическими возможностями в качестве электрического изолятора и оптического материала. В связи с этим достаточно подробно исследованы радиационное повреждение этих кристаллов, ключая оптическое изучение центров окраски и свечения, термолюминесценция и термостимулированные токи, радиационно-стимулированная проводимость, ЭПР [1–6].

Настоящая работа посвящена изучению импульсной проводимости  $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$  при возбуждении электронным пучком (0.2 MeV, 50 ps, 0.1–10 kA/cm<sup>2</sup>). Временное разрешение методики определяется импульсной характеристикой измерительного тракта и составляет 150 ps на полувысоте. Образцы  $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$  представляют собой диски диаметром 5 mm и толщиной 60  $\mu\text{m}$ , на которые напылялись электроды из платины. Эксперименты проводились при комнатной температуре в вакуумной камере ускорителя. Релаксация тока проводимости в широком временном интервале представлена на рис. 1. Ток достигает максимального значения на 300 ps, что соответствует переходной характеристике измерительного тракта. Отсюда следует, что компонента тока проводимости, безынерционно следующего за импульсом возбуждения, не наблюдается, как, например, в кристаллах NaCl, KCl [7]. Далее следует субнано-секундный спад, не описываемый простым законом, а за ним в пределах чувствительности аппаратуры наблюдаются по крайней мере еще две составляющие релаксации тока проводимости в наносекундном диапазоне. Вольт-амперные характеристики (ВАХ), измеренные по амплитудным значениям тока проводимости, линейны в полях, по крайней мере до  $5 \cdot 10^4$  V/cm. Из ВАХ рассчитывалась удельная проводимость. Эксперимент повторялся в широком диапазоне плотностей возбуждения  $j$ , результат представлен на рис. 2. Зависимость  $\sigma(j)$  носит степенной характер  $\sigma \sim j^\alpha$ , где  $\alpha = 0.3$ . Этот результат имеет очень важное значение. Если субнано-секундный компонент тока проводимости, который составляет  $\geq 0.9$  амплитуды тока, был бы обусловлен электронами зоны проводимости или дырками валентной зоны до рекомбинации или захвата

на дефекты, то должно было бы выполняться условие  $\sigma \sim j$ . Наш результат свидетельствует о том, что время жизни зонных носителей до захвата составляет величину  $\tau \leq 10^{-10}$  s. Следовательно, наблюдаемые компоненты релаксации тока проводимости, включая самый быстрый, обусловлены термическим освобождением носителей из ловушек и последующим перераспределением между ними. При этом наблюдается не менее трех сортов ловушек.

Рис. 1. Релаксация тока проводимости в  $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ .Рис. 2. Зависимость удельной проводимости  $\sigma$  от плотности тока пучка  $j$  в  $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ .

Следующий важный вопрос: какому типу носителей принадлежат составляющие импульса тока проводимости — электронам или дыркам? Для получения информации по этому вопросу мы привлекли оптические эксперименты. Известно, что в кристаллах  $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$  наблюдается свечение  $F^+$ - ( $\lambda_{\text{max}} = 330 \text{ nm}$ ) и  $F$ -центров ( $\lambda_{\text{max}} = 400 \text{ nm}$ ), которое возникает в результате захвата электрона на вакансию кислорода и соответственно на  $F^+$ -центр. В полосах свечения обоих центров обнаружены компоненты, совпадающие со вторым спадом на импульсе тока проводимости, и более длительный компонент ( $\sim 400 \text{ ns}$ ), по-видимому, соответствующий третьему спаду. Нам известно, что собственное время свечения по крайней мере для  $F^+$ -центра составляет менее  $7 \text{ ns}$  [6]. Из вышесказанного следует, что второй и третий компоненты импульса тока проводимости, по-видимому, связаны с электронами.

В работе [5] измерялось оптическое поглощение в кристаллах  $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$  при возбуждении пикосекундными импульсами электронов. Была обнаружена полоса поглощения с временем релаксации  $0.5\text{--}2.5 \text{ ns}$  в зависимости от степени чистоты кристалла. Авторы связали эту полосу с прямыми переходами валентных электронов на свободные дырки у потолка валентной зоны. Если эта модель верна, то можно предположить, что наблюдаемый нами субнаносекундный спад импульса проводимости связан с дырками валентной зоны. Отличие состоит лишь в том, что концентрация свободных дырок модулирована ловушками, а не связана с чисто зонными дырками в процессе релаксации от рождения до захвата, как считалось в [5].

## Список литературы

- [1] K.H. Lee, J.H. Crawford. Phys. Rev. **B15**, 4065 (1977).
- [2] K.H. Lee, G.E. Holmverd, J.H. Grayford. Phys. Stat. Sol. (a) **39**, 669 (1977).
- [3] R.C. Hughes. Phys. Rev. **B19**, 5313 (1979).
- [4] Э.Д. Алукер, В.В. Гаврилов, Р.Г. Дейч, А.И. Ситдииков, С.А. Чернов. ФТТ **29**, 5, 1470 (1987).
- [5] А.Э. Алукер, Р.Г. Дейч, Г.С. Думбадзе, А.М. Ситдииков. Опт. и спектр. **66**, 3, 569 (1989).
- [6] B.D. Evans, M. Stapelbrock. Phys. Rev. **B18**, 12, 7089 (1978).
- [7] Б.П. Адуев, Г.М. Белокуров, В.Н. Швайко. ФТТ **37**, 8, 2537 (1995).