

10;11;12

## **Влияние внешнего электрического поля на восстановление стабилизированного диоксида циркония в процессе облучения ионами гелия**

© *О.Н. Горшков, В.А. Новиков, А.П. Касаткин*

Научно-исследовательский физико-технический институт  
Нижегородского государственного университета

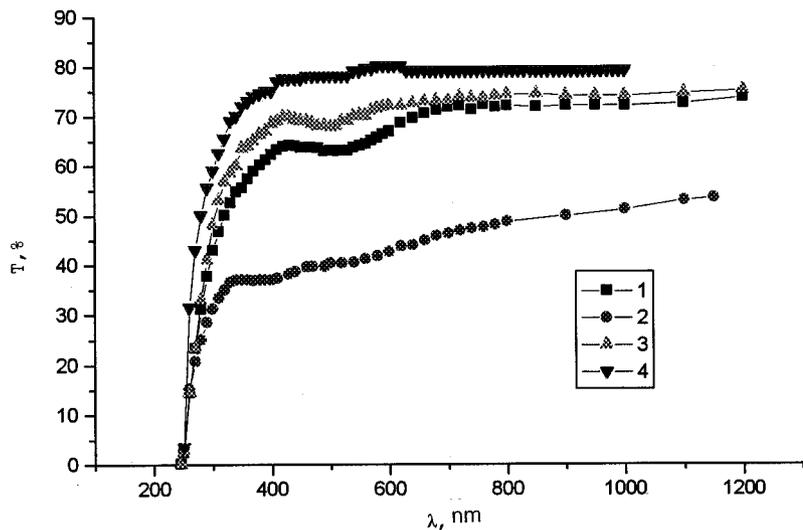
*Поступило в Редакцию 15 января 1999 г.*

Показано, что приложение внешнего электрического поля в процессе облучения монокристаллов стабилизированного иттрием диоксида циркония (СИДЦ) ионами гелия может оказывать существенное влияние на процессы, сопровождающие радиационно стимулированное восстановление СИДЦ: изменение его электронной проводимости и показателя преломления света и возникновение в матрице СИДЦ металлических наноразмерных включений.

Учет влияния внутренних и внешних электрических полей на процессы, происходящие при ионном облучении диэлектриков, представляет одну из важных проблем радиационной физики твердого тела [1]. При этом можно ожидать, что влияние внешнего электрического поля может быть особенно существенным для суперионных проводников (твердых электролитов). Например, как показано в работах [2,3], облучение ионами гелия стабилизированного иттрием диоксида циркония (СИДЦ) [4], содержащего в исходном состоянии достаточно подвижные вакансии кислорода с высокой концентрацией, приводит к выходу кислорода из приповерхностного слоя с толщиной порядка проецированного пробега ионов гелия. В настоящей работе показано, что приложение внешнего электрического поля в процессе облучения монокристаллов СИДЦ ионами гелия может оказывать существенное влияние на процессы, сопровождающие радиационно стимулированное восстановление СИДЦ (изменение его электронной проводимости и показателя преломления света и возникновение в матрице СИДЦ металлических наноразмерных включений), поскольку СИДЦ является материалом с ионной связью и кислород движется в нем в заряженном состоянии.

В качестве исходных образцов использовались монокристаллы СИДЦ, стабилизированные иттрием ( $88 \text{ mol.}\% \text{ZrO}_2 + 12 \text{ mol.}\% \text{Y}_2\text{O}_3$ ), которые были получены методом прямого высокочастотного плавления в холодном контейнере [5]. Подготовка образцов и выбор режимов облучения описаны в работах [2,3]. Образцы располагались на заземленном держателе, а потенциал относительно держателя прикладывался к облучаемой поверхности образца. В качестве прижимного контакта к этой поверхности использовалась стальная сетка (диаметр провода  $0.5 \text{ mm}$ , размер ячеек  $2.5 \times 2.5 \text{ mm}$ ). Выравнивание потенциала вдоль поверхности облучаемого слоя обеспечивалось достаточно высокой его проводимостью. Облучение СИДЦ ионами гелия проводилось с энергией  $E = 40 \text{ keV}$ , дозой  $\Phi = 2 \cdot 10^{17} \text{ ion/cm}^2$  во внешнем электрическом поле с напряженностью  $E = 2 \cdot 10^4 \text{ V/cm}$ . Изменение проводимости облученного СИДЦ фиксировалось стандартным четырехзондовым методом, а изменение показателя преломления света материала и возникновение в матрице СИДЦ металлических наноразмерных включений устанавливались, исходя из анализа спектров пропускания света для исходных и облученных образцов СИДЦ.

Включение в процессе облучения электрического поля, которое было приложено в направлении, способствующем выходу ионов кислорода из облучаемого слоя, приводило к увеличению проводимости материала примерно в 40 раз. Проводимость этих образцов составляла примерно 0.8 проводимости образцов, облученных ионами с дозой  $\Phi = 10^{18} \text{ ion/cm}^2$  при отсутствии внешнего электрического поля ( $\sim 1 \Omega^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$ , концентрация электронов проводимости равнялась  $10^{19} \text{ cm}^{-3}$ , их подвижность составляла  $\sim 1 \text{ cm}^2/\text{V} \cdot \text{s}$  [2,3]). Эта проводимость при достаточно низкой степени восстановления материала обусловлена наличием электронов в  $\alpha$ -зоне дефектных состояний, которая находится в запрещенной энергетической зоне [6]. Полагая подвижность этих электронов слабо зависящей от дозы ионов и величины напряженности поля, получим, что при отсутствии (при наличии) поля концентрация электронов составляет  $2 \cdot 10^{17} (0.8 \cdot 10^{19}) \text{ cm}^{-3}$ . На рисунке приведены оптические спектры пропускания образцов. Эти спектры подобны спектрам образцов, облученных при отсутствии поля [2,3], и также содержат полосу оптического поглощения в области длин волн  $\lambda \sim 400\text{--}650 \text{ nm}$ , которая обусловлена поглощением света наноразмерными включениями с металлическим типом электропроводности, возникшими в процессе облучения в матрице СИДЦ. Относительный



Спектры пропускания исходных монокристаллов СИДЦ (4), монокристаллов, облученных ионами гелия с энергией  $E = 40 \text{ keV}$  и дозой  $\Phi = 2 \cdot 10^{17} \text{ ion/cm}^2$  (1–3) при отсутствии (1) и при приложении внешнего электрического поля с напряженностью  $E = 2 \cdot 10^4 \text{ V/cm}$  в направлении, способствующем выходу ионов кислорода из облученного слоя (2), и в противоположном направлении (3).

объем включений возрастал при приложении поля более чем в три раза. Более низкий уровень коэффициента пропускания  $T(\lambda)$  в длинноволновой области для кривой (2) по сравнению с таковыми для других кривых связан с таким увеличением показателя преломления облученного слоя, которое при отсутствии поля происходит при дозах ионов, равных примерно  $10^{18} \text{ ion/cm}^2$  [2,3].

Таким образом, эксперименты по облучению СИДЦ ионами гелия с энергией  $E = 40 \text{ keV}$ , дозой  $\Phi = 2 \cdot 10^{17} \text{ ion/cm}^2$  во внешнем электрическом поле с напряженностью  $E = 2 \cdot 10^4 \text{ V/cm}$  показали, что влияние этого поля на радиационно стимулированное восстановление СИДЦ является существенным: приложение поля в направлении, способствующем выходу ионов кислорода из облучаемого слоя, значительно ускоряет протекание таких процессов (увеличение электронной проводимости и показателя преломления, возникновение металлических наноразмерных

включений), которые являются следствием восстановления материала; приложение поля в противоположном направлении заметно замедляет эти процессы.

Работа выполнена в рамках гранта по исследованиям в области ядерной техники и физики пучков ионизированных излучений (Раздел IX. Ионные пучки и научно-технологические основы их применения), а также в рамках программы "Фундаментальные и прикладные проблемы взаимодействия плазмы с поверхностью".

## Список литературы

- [1] *Громов В.В.* Электрический заряд в облученных материалах. М.: Энергоиздат, 1982. 112 с.
- [2] *Горшков О.Н., Грачева Т.А., Касаткин А.П.* и др. // Высокочистые вещества. 1995. № 2. С. 85–93.
- [3] *Горшков О.Н., Грачева Т.А., Касаткин А.П.* и др. // Поверхность. 1997. № 1. С. 15–19.
- [4] *Чеботин В.Н., Перфильев М.В.* Электрохимия твердых электролитов. М.: Химия, 1978. 312 с.
- [5] *Александров В.И., Осико В.В., Прохоров А.М.* и др. // Успехи химии. 1978. Т. 47. В. 3. С. 385–427.
- [6] *Merino R.I., Orera V.M.* Solid-State Ionics. 1995. V. 76. N 1–2. P. 97–102.