

## ПЕРКОЛЯЦИОННАЯ ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТЬ ПЛЕНОК $Ru_xTi_{1-x}O_2$ В СИЛЬНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОЛЯХ

Б.Ш.Галямов

Впервые получено экспериментальное подтверждение модели перколяционной электропроводности неупорядоченных материалов в сильных электрических полях, согласно которой полевая зависимость электропроводности имеет вид близкий закону Френкеля – Пула, но с коэффициентом в показателе экспоненты, характеризующим степень беспорядка.

Согласно модели перколяционной электропроводности, вольт-амперные характеристики (ВАХ) аморфных и компенсированных кристаллических полупроводников имеют вид близкий к закону Френкеля – Пула, но с другим коэффициентом в показателе экспоненты, который может зависеть от степени беспорядка [1]. Однако, известные литературные данные по полевой зависимости электропроводности таких материалов не позволяют провести однозначную интерпретацию экспериментальных результатов в рамках указанной модели, а непосредственной ее проверки на модельных образцах, несмотря на актуальность перколяционной модели электропроводности, выполнено не было.

В настоящей работе сообщается о результатах исследования ВАХ твердых растворов  $Ru_xTi_{1-x}O_2$  с неполной степенью кристалличности, образующихся в системе  $TiO_2 - RuO_2$ , где  $TiO_2$  – полупроводник с широкой запрещенной зоной ( $E_g \approx 3,0$  эВ), а  $RuO_2$  – окисел с металлической электропроводностью<sup>1)</sup>.

Ранее было показано, что при значениях  $x > x_c = 0,25$  в этих сложных окислах возникает бесконечный кластер, и электропроводность пленок становится "квазиметаллической" вследствие наличия конечной (порядка  $kT$ ) шели подвижности, обусловленной их неполной степенью кристалличности [3]. Поэтому неомическая электропроводность в сильных электрических полях ( $E \sim 10^4$  В/см) исследовалась на окислах со значением  $x < x_c$ . На рис. 1 представлены статические ВАХ исследуемых пленок. При достижении порогового потенциала  $V_{II}$  происходит переключение в промежуточное состояние, значение  $V_{II}$  определяется концентрацией рутениевой компоненты. При увеличении плотности тока образцы переходят в конечное стабильное состояние. Следует отметить, что в импульсном режиме измерений переключение происходит без промежуточного этапа.

Зависимость  $V_{II}$  от состава (рис. 2) обладает следующими интересными свойствами: ее экстраполяция к значению  $x = 0$  приводит к значению потенциала переключения для  $TiO_2$   $V_{II} = 2,9$  В, что практически

<sup>1)</sup> Методика приготовления образцов изложена в [2]. Пленки толщиной 5 мкм наносились на титановую подложку, в качестве второго анода использовался ртутный электрод.

совпадает с  $E_g$ , а значение  $V_{\Pi} = 0$  достигается при  $x \geq x_c$ , т. е. в области существования бесконечного кластера. Таким образом, значение  $V_{\Pi}$  определяется наличием конечных кластеров, и следовательно, размерами крупномасштабных флуктуаций границ зон, амплитуда которых для  $TiO_2$  оказывается сравнимой с шириной запрещенной зоны.

Возможный механизм переключения в таких материалах, связанный с ростом концентрации носителей заряда, обусловленным электронными переходами с глубоких уровней в состояния вблизи уровня протекания в потенциальных ямах, образованных крупномасштабными флуктуациями концентрации легирующей примеси, рассмотрен в [4].

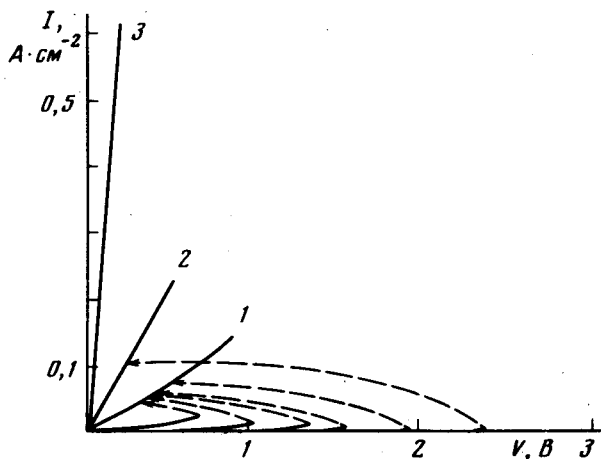


Рис. 1. Вольт-амперные характеристики пленок  $Ru_x Ti_{1-x} O_2$ ,  $x = 0,001$ ;  $x = 0,005$ ;  $x = 0,01$ ;  $x = 0,03$ ;  $x = 0,05$  и  $x = 0,08$ . Потенциал переключения понижается при увеличении  $x$ . Обозначены цифры: 1, 2 – промежуточное состояние, 3 – конечное стабильное состояние.

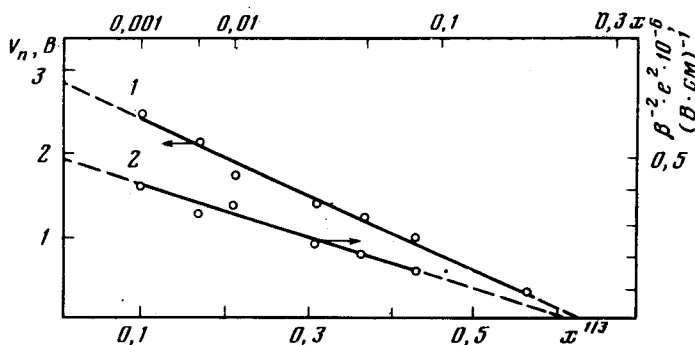


Рис. 2. Зависимости потенциала переключения  $V_{\Pi}$  и коэффициента  $\beta$  от состава пленок

В области допороговых потенциалов ВАХ удовлетворяют соотношению  $I \sim \exp \beta E^{1/2}$ , коэффициент  $\beta$  растет при увеличении  $x$  (рис. 2). При  $x \rightarrow 0$  значение  $\beta/e = 1,45 \cdot 10^{-3} \text{ В}^{1/2} \cdot \text{см}^{1/2}$ , что практически совпадает со

значением, полученным в [5] для структуры Ti – окисная пленка TiO<sub>2</sub> – Al (Au), и следовательно, характер полевой зависимости ВАХ от природы электрода не зависит. Однако модель Френкеля – Пула, предложенная в [5] для интерпретации ВАХ, по крайней мере для наших образцов не согласуется со следующими результатами: 1) экспериментальные значения  $\beta$  на порядок превышают рассчитанные по известной формуле  $\beta = (e / \pi \epsilon \epsilon_0)^{1/2}$ ; 2) измерения диэлектрической проницаемости исследуемых пленок показали, что при увеличении  $x$  она быстро возрастает с моделью протекания по проводящим конечным кластерам в диэлектрической среде [6], и следовательно, при условии выполнения закона Френкеля – Пула экспоненциальный коэффициент должен уменьшаться, что противоречит экспериментальным результатам. Таким образом, полевая зависимость ВАХ исследуемых образцов удовлетворяет модели перколяционной электропроводности в сильных электрических полях.

Так как  $\beta = (CeaU)^{1/2}$ , где  $a$  и  $U$ , соответственно, радиус и амплитуда крупномасштабных флуктуаций,  $C$  – неизвестный численный коэффициент [1], сопоставление наименьшего размера типичной флуктуации, изгибающей зоны на величину порядка  $E_g$  [7] и его значения, определенного из  $\beta$ , позволяют вычислить и коэффициент:  $C = 0,20$ .

Приведенные экспериментальные результаты подтверждают выводы работы [1] о характере полевой зависимости перколяционной электропроводности в неупорядоченных системах. Необходимое условие для наблюдения предсказанных в этой работе эффектов, а именно наличие крупномасштабных флуктуаций, амплитуда которых сравнима с энергией активации омической электропроводности, выполняется в исследованных окисных пленках.

Физико-химический институт  
им. Л.Я.Карпова

Поступила в редакцию  
20 марта 1980 г.

## Литература

- [1] Б.И.Шкловский. ФТП, 13, 93, 1979.
- [2] Ю.Е.Рогинская, В.И.Быстров, Д.М.Шуб. ЖНХ, 22, 201, 1977.
- [3] Я.М.Колотыркин, Б.Ш.Галямов, Ю.Е.Рогинская, Р.Р.Шифрина, В.И.Быстров. ДАН СССР, 241, 137, 1978.
- [4] С.Ф.Тимашев. ФТП, 10, 741, 1976.
- [5] G. Iouve, I. Goube. Thin Solid Films, 59, 361, 1979.
- [6] A. L. Efros, V. I. Shklovskii. Phys. Stat. Sol (b), 76, 475, 1976.
- [7] Б.И.Шкловский, А.Л.Эфрос. ЖЭТФ, 62, 1156, 1972.