

## АНОМАЛИИ ПРОВОДИМОСТИ И ГАЛЬВАНОМАГНИТНЫХ СВОЙСТВ ДИОКСИДА ВАНАДИЯ В СИЛЬНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОЛЯХ

*Е.В.Бабкин, Г.А.Петраковский, А.А.Чарыев*

Изложены результаты исследования влияния сильного электрического поля на кинетические свойства пленок диоксида ванадия. Экспериментальная методика основана на контактных явлениях в слоистых структурах металл – диэлектрик – полупроводник. Обнаружено аномальное поведение проводимости, магнитосопротивления и нелинейных резистивных свойств образцов в электрическом поле. Результаты обсуждаются с позиций представления о существовании спонтанного макроскопического тока в пленках, вызванного переходом системы в тороидное токовое состояние.

В работе сообщается о влиянии сильного электрического поля на проводимость, магнитосопротивление и нелинейные резистивные свойства диоксида ванадия  $VO_2$ . Диоксид ванадия при температуре 340 К претерпевает фазовый переход металл – диэлектрик, и в общем случае влияние электрического поля на свойства  $VO_2$  может быть связано с разницей энергии электрического поля  $E^2/8\pi$  в металле и диэлектрике, которая проявляется в выталкивании поля из металла<sup>1</sup>. Значительный интерес представляет изучение эволюции свойств крис-

талла при увеличении напряженности электрического поля, когда его энергия становится сравнимой с разностью энергии диэлектрической и металлической фаз.

Для создания сильного электрического поля в объеме кристалла нами использовалась слоистая структура, состоящая из диэлектрической подложки, на противоположные стороны которой нанесены пленки немагнитного металла и исследуемого соединения. Подложками являлись керамические пластинки титаната бария толщиной 0,1 см с диэлектрической проницаемостью 6100. Пленки меди наносились методом вакуумного испарения, толщина пленок 1000 – 3000 Å. Пленки диоксида ванадия осаждались методом пиролиза ацетилацетоната ванадия, толщина пленок 200 – 1500 Å. Контакты к образцам изготавливали нанесением проводящего клея на основе полиакриловой смолы. Расстояние между контактами на пленках  $\text{VO}_2$  было одинаковым для всех образцов и составляло 0,1 см.

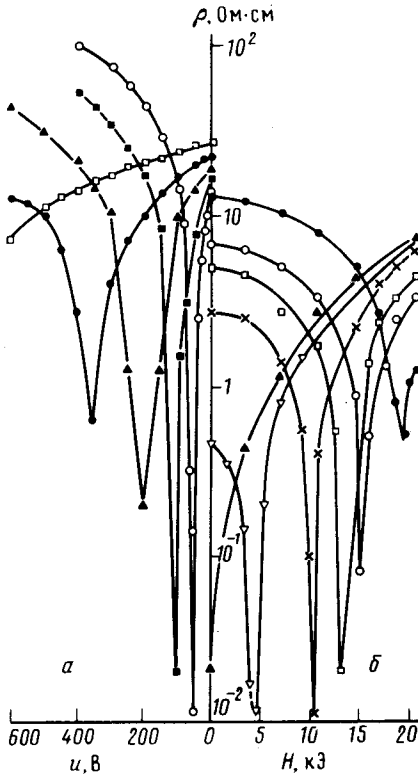


Рис.1. *а* – Зависимость удельного электросопротивления пленки  $\text{VO}_2$  толщиной 260 Å от напряжения при различных температурах: □ – 467 К; ● – 482 К; ▲ – 496 К; ■ – 512 К; ○ – 529 К. Ток через сечение пленки 0,112 мкА. *б* – Зависимость удельного электросопротивления пленки  $\text{VO}_2$  толщиной 260 Å от напряженности магнитного поля, приложенного нормально к ее поверхности при различных напряжениях: ▲ – 54 В; ▽ – 60 В; × – 70 В; □ – 80 В; ○ – 90 В; ● – 100 В. Измерения при температуре 529 К, ток через сечение пленки 0,112 мкА

Большая диэлектрическая проницаемость подложки обеспечивает значительный скачок нормальной компоненты электрической индукции на границе пленка – подложка при приложении напряжения к металлическому электроду. Оценки показывают, что при напряжении  $U = 1000$  В в данном случае напряженность электрического поля в объеме пленки составляет  $10^7 - 10^8$  В/см, энергия электрического поля при этом –  $10^8 - 10^9$  эрг/см<sup>3</sup>. Разность энергий диэлектрической и металлической фаз  $\text{VO}_2$   $\Delta F$  определяется теплотой фазового перехода и его плотностью и составляет  $1,8 \cdot 10^9$  эрг/см<sup>3</sup>. Таким образом, для данного эксперимента возможно выполнение условия  $E^2/8\pi = \Delta F$ . Исходя из оценки электрической емкости системы, изменение концентрации носителей тока в этом случае составляет  $10^{19} - 10^{20}$  см<sup>-3</sup>.

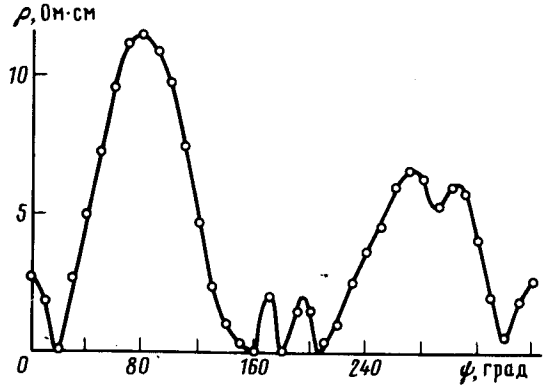


Рис.2. Угловая зависимость магнетосопротивления пленки  $\text{VO}_2$  толщиной 260 Å в магнитном поле напряженностью 10 кЭ при напряжении 192 В и температуре 490 К, ток через сечение пленки 0,112 мкА. Угол  $\psi$  отсчитывается от нормали к поверхности пленки в плоскости, перпендикулярной направлению электрического тока

Электрические измерения проводились на постоянном токе. Измерительная схема, включающая генератор тока, регистрирующее устройство и систему шунтов, обеспечивала контроль и регулирование тока в пределах 0,05 – 12 мкА. Термостатированная камера с образцом помещалась в зазор электромагнита, напряженность магнитного поля которого варьировалась в пределах 0,1 – 22 кЭ.

Измерения электросопротивления в зависимости от напряжения на металлическом электроде, напряженности магнитного поля, силы тока через сечение и температуры проведены на серии образцов. Во всех случаях получены качественно однозначные результаты. На рис. 1, а показана зависимость удельного электросопротивления пленки  $\text{VO}_2$  толщиной 260 Å от напряжения  $U$  при различных температурах. Направление электрического поля обеспечивает положительный заряд на пленке  $\text{VO}_2$ , при обратном направлении поля минимум электросопротивления отсутствует и оно монотонно возрастает с увеличением напряжения. Подобная картина наблюдается на пленках толщиной 830, 1040, и 1440 Å, но при большем значении напряжения. Напряжение  $U_0$ , соответствующее минимуму электросопротивления, монотонно зависит от температуры и при фиксированной температуре линейно растет с увеличением силы тока. Неожиданным результатом исследований явилось установление сильного магниторезистивного эффекта в пленках при  $U \neq 0$ . Увеличением напряженности приложенного магнитного поля, нормально к плоскости пленки, можно вновь привести свойства образцов в исходное состояние, соответствующее  $U = 0$ , причем также немонотонно проходя через минимум  $\rho(H)$ , рис. 1, б. Магнитосопротивление испытывает сильную анизотропию, зависящую от температуры и приложенного напряжения, рис. 2.

Аномальное поведение кинетических свойств диоксида ванадия в сильном электрическом поле невозможно объяснить с позиций классических представлений, развитых для полупроводников и металлов. Сильное уменьшение электросопротивления образцов при некотором критическом значении напряжения дает основание полагать, что в этой области возникает новое состояние кристалла, чувствительное к магнитному полю и току. Для объяснения результатов может оказаться полезной гипотеза о существовании спонтанного макроскопического тока в объеме кристалла, вызванного переходом системы в кооперативное тороидное токовое состояние<sup>2-4</sup>. В неравновесных условиях при наличии диссипации, вызванных внешним током, возможна аномалия проводимости в точке фазового перехода в ТТС, подобная кюривейссовской восприимчивости, амплитуда которой зависит от тока<sup>5</sup>. Магниторезистивный эффект при этом может быть следствием аномального диамагнетизма. Необходимым для реализации ТТС является понижение симметрии кристалла, вызванное электрическим полем. Однако наряду с этим роль электрического поля сводится также к сильному изменению состояния носителей тока (их концентрации, энергетическому спектру и т. д.). Совпадение условий возникновения ТТС по этим параметрам может явиться причиной резкого уменьшения электросопротивления пленок в определенной области напряженностей электрического и магнитного полей и температуры.

Не исключены другие варианты трактовки данных результатов, однако авторы вынуждены этим ограничиться за отсутствием альтернатив. Окончательный вывод может быть сделан после дополнительных экспериментов и детального теоретического анализа.

Авторы благодарны А.А.Горбацевичу, Ю.В.Копяеву, С.Г.Овчинникову и В.В.Тугушеву за многочисленные дискуссии и полезные замечания.

#### Литература

1. Валиев К.А., Копяев Ю.В., Мокеров В.Г., Раков А.В. ЖЭТФ, 1971, 60, 2175.
2. Волков Б.А., Горбацевич А.А., Копяев Ю.В., Тугушев В.В. ЖЭТФ, 1981, 81, 729.
3. Ginzburg V.L., Gorbatzevich A.A., Kopyev Yu. V., Volkov B.A. Solid State Comm., 1984, 50, 339.
4. Волков Б.А., Горбацевич А.А., Копяев Ю.В. ЖЭТФ, 1984, 86, 1870.
5. Горбацевич А.А., Копяев Ю.В., Тугушев В.В. ЖЭТФ, 1983, 85, 1107.