

Письма в ЖЭТФ, том 13, стр. 527 – 531

20 мая 1971 г.

**ВЛИЯНИЕ СИЛЬНОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ
НА ТЕМПЕРАТУРУ ФАЗОВОГО ПЕРЕХОДА ДИЭЛЕКТРИК – МЕТАЛЛ
 $B(V_{0,91}Cr_{0,09})_2O_3$**

В. Н. Андреев, Б. А. Таллерчик, Ф. А. Чудновский

В последнее время начали интенсивно исследоваться твердые растворы замещения $V_2O_3 - Me_2O_3$, где $Me = Al, Cr, Ti$ [1 – 3]. Эти металлы, замещая V, уменьшают отношение параметров решетки c/a в V_2O_3 и приводят к существенному изменению как температуры, так и характера фазового перехода. Добавки Al и Cr приводят к возрас-

нию расстояния между атомами V, т. е. эффективно "растягивают" решетку [3, 4], Ti – "сжимают" ее.

Эксперименты по влиянию всестороннего давления [3], а также опыты по ядерному магнитному резонансу [5] показали, что фазовая диаграмма V_2O_3 , в котором до 10% атомов V замещены Al, Cr, Ti, имеет вид, представленный на рис. 1, б. Из диаграммы видно, что при повышении температуры в системе $(V_{1-x}Cr_x)_2O_3$ в районе $170 - 180^{\circ}\text{K}$ осуществляется переход из состояния "антиферромагнитного диэлектрика" в диэлектрик. Из этой же диаграммы видно, что в системе $(V_{1-x}Cr_x)_2O_3$ можно осуществить также переход в металлическое состояние, если образец подвергнуть действию всестороннего давления. Например, для перевода в металлическое состояние образца $(V_{0,91}Cr_{0,09})_2O_3$, находящегося в состоянии "антиферромагнитного диэлектрика" при $T = 100^{\circ}\text{K}$, необходимо давление $p \sim 52$ кбар, а если этот образец находится при комнатной температуре, то для перевода его из диэлектрика в металл необходимо давление $p \sim 25$ кбар.

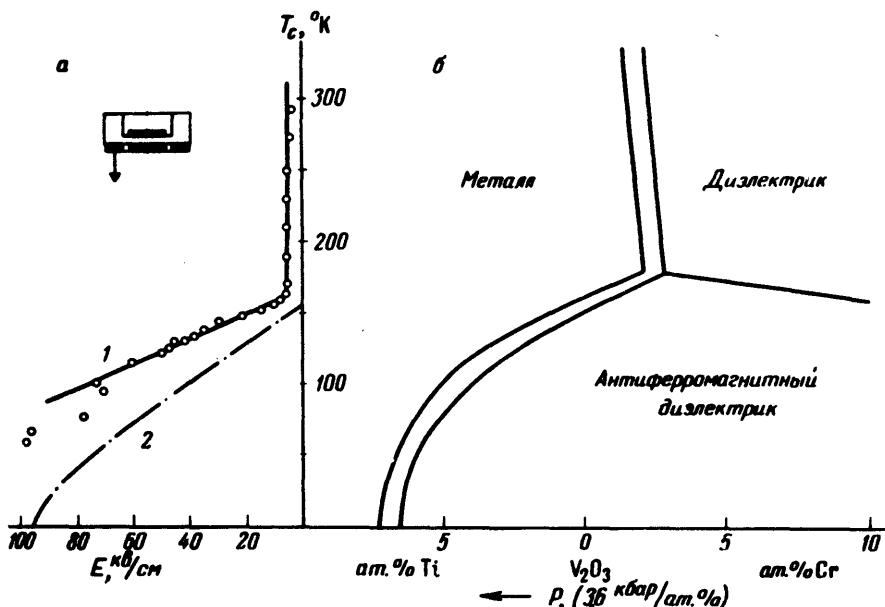


Рис. 1. а – зависимость температуры перехода T_c от величины электрического поля E : 1 – $(V_{0,91}Cr_{0,09})_2O_3$, 2 – V_2O_3 ; б – фазовая диаграмма V_2O_3 легированного Cr и Ti [3]

В работе [6], было показано, что действие сильного электрического поля на фазовый переход диэлектрик – металл в V_2O_3 связано с деформацией решетки вследствие пьезоэффекта, в результате чего меняется энергия связи экситонов и точка фазового перехода сдвигается в сторону более низких температур.

Настоящая работа предпринята с целью исследования влияния сильного электрического поля E на температуру фазового перехода (T_c) в системе $(V_{0,91}Cr_{0,09})_2O_3$. Ясно, что, если действие электрического

поля эквивалентно давлению, то фазовая диаграмма $T_c(E)$ должна быть похожа на фазовую диаграмму $T_c(P)$ с характерным для нее изломом при $T \sim 170^{\circ}\text{K}$, так как ниже этой температуры осуществляется переход "антиферромагнитный диэлектрик" – металл, а выше – "диэлектрик – металл" (см. рис. 1, б).

С другой стороны, наличие такого излома в зависимости $T_c(E)$, снятой на образцах с большим содержанием Cr (~ 9 атомных процентов), в которых практически не наблюдается изменений в температурной зависимости электропроводности σ_0 в районе $170 - 180^{\circ}\text{K}$, может явиться прямым свидетельством отсутствия существенного влияния джоулева разогрева на фазовый переход, происходящий в электрическом поле.

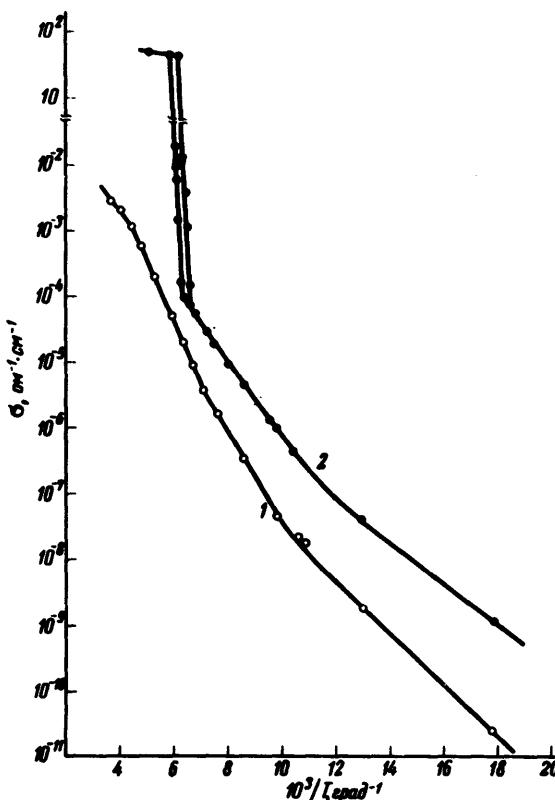


Рис. 2. Температурная зависимость электропроводности:
1 – $(\text{V}_{0,91}\text{Cr}_{0,09})_2\text{O}_3$ и
2 – V_2O_3

Измерения проводились в спеченных поликристаллических образцах $(\text{V}_{0,91}\text{Cr}_{0,09})_2\text{O}_3$, приготовленных по обычной керамической технологии. Исходная V_2O_3 была получена восстановлением пятиокиси ванадия марки ч. д. а. в водороде при 800°C . После смешивания V_2O_3 с Cr_2O_3 в шаровой мельнице и прессования при давлении около $2000 \text{ кг}/\text{см}^2$ образцы обжигались в вакууме $\sim 1 \cdot 10^{-6} \text{ тор}$ при температуре 1100°C в течение 5 час или в водороде с точкой росы $20 \pm 25^{\circ}\text{C}$ при температуре 1500°C [2]. Рентгеновскими методами было подтверждено образование твердого раствора $(\text{V}_{1-x}\text{Cr}_x)_2\text{O}_3$.

Напряжение в форме прямоугольных 2 микросекундных одиночных импульсов прикладывалось к образцам, изготовленным в форме шайб с лункой (см. рис. 1, а). Охранное кольцо позволяло устраниć поверхностную составляющую электропроводности. Электрические контакты на образец наносились с помощью контакттола на основе серебра. Ток и напряжение регистрировалось осциллографом. При достижении на образце, находящемся при заданной температуре в изолирующем состоянии некоторого поля (например $\sim 100 \text{ кв/см}$ при температуре кипения жидкого азота), сопротивление образца резко падает (в $10^5 - 10^7$ раз) – происходит переход диэлектрик – металл. Изменяя при каждой заданной температуре электрическое поле, которое необходимо для перевода образца в металлическое состояние, мы фактически определяем сдвиг температуры фазового перехода диэлектрик – металл (T_c) в зависимости от величины электрического поля.

Полученная таким образом зависимость $T_c(E)$ показана на рис. 1, а. В интервале от 160 до 170°К зависимость $T_c(E)$ линейна. Такая же линейная зависимость, правда до более низких температур $\sim 40^\circ\text{K}$ наблюдалась нами на монокристаллах V_2O_3 (см. рис. 1, а). Наклон прямой $T_c(E)$ для образца $(\text{V}_{0,91}\text{Cr}_{0,09})_2\text{O}_3$ в области T от 160 до 100°К равен $\sim 1,43 \cdot 10^3 \text{ град/в/см}^2$, т. е. в два раза больше, чем для монокристалла V_2O_3 . С другой стороны, нами наблюдалось двухкратное уменьшение наклона зависимости $\lg \sigma$ от E по сравнению с тем же наклоном для монокристаллов V_2O_3 .

Сравнение рис. 1, а и б показывает, что в области температур 160 – 100°К поле, необходимое для перевода образца в металлическое состояние, в два раза больше соответствующего поля для монокристалла V_2O_3 , а давление, необходимое для перевода образца $(\text{V}_{0,91}\text{Cr}_{0,09})_2\text{O}_3$ в металлическое состояние в той же области температур, приблизительно в 2,5 раза больше соответствующего давления для V_2O_3 . Это обозначает, что для перехода "антиферромагнитный диэлектрик – металл" 1 кбар всестороннего давления соответствует $\sim 1,5 \text{ кв/см}$ напряженности поля, приложенного к образцу. В области $T \sim 170^\circ\text{K}$ наблюдается резкий излом $T_c(E)$ и выше 170°К T_c возрастает практически при одном значении E .

Сравнение рис. 1, а и б показывает, что электрическое поле смещает температуру фазового перехода подобно всестороннему давлению или легированию. Кроме того, так как в температурной зависимости электропроводности не наблюдается никаких существенных изменений в районе 170°К (рис. 2), приведенные экспериментальные данные показывают, что действие электрического поля не сводится к джоулеву разогреву, как это, по-видимому, имеет место в аморфных полупроводниковых материалах [7].

В заключение авторы считают своим приятным долгом выразить благодарность А.Г.Аронову за ряд ценных советов.

Институт полупроводников
Академии наук СССР

Поступила в редакцию
11 марта 1971 г.

Литература

- [1] A.J.McMillan. U.S.Gov. Res. Rept., 38, 33, 1966; T.Sata. Bull Tokyo Inst. Technol., 66, 85, 1965; K.Kosuge, S.Kachi. J. Phys. Soc. Japan, 20, 627, 1965; C.Nordmark. Acta Cryst., 13, 1023, 1960; T.Kawakubo, Yanagi, S.Momura. J. Phys. Soc. Japan, 15, 2102, 1960.
 - [2] Б.А.Таллерчик, В.Н.Новиков, Т.Н.Егорова. Электронная техника (сер. 8, в 1, 18) 97, 1970.
 - [3] D.B.McWhan, T.M.Rice, J.P.Remeika. Phys. Rev. Lett., 23, 1384, 1969.
 - [4] P.D.Dernier. J. Phys. Chem. Sol., 31, 2569, 1970.
 - [5] M.Rubinstein. Sol. St. Commun., 8, 1469, 1970.
 - [6] В.Н.Андреев, А.И.Аромб, Ф.А.Чудновский. ФТТ, 12, 1957, 1970.
 - [7] K.W.Boer, S.R.Ovshinsky. J. Appl. Phys., 41, 2675, 1970; H.J.Stoker, C.A.Barlow Jr, D.D.Weirauch. J. Non-Cryst Sol., 4, 523, 1970.
-