

Н- И S-ОБРАЗНЫЕ ВОЛЬТ-АМПЕРНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ (ВАХ) КЛАСТЕРНОЙ СВЕРХРЕШЕТКИ ТЕЛЛУРА В ЦЕОЛИТЕ ТИПА X

*В.Н.Богомолов, А.И.Задорожный, Т.М.Павлова,
В.П.Петрановский, В.П.Подхалюзин, А.Л.Холкин*

В кубическую решетку полостей цеолита типа X, используемого в качестве матрицы, введен Te по 16 и по 23 атома на каждую полость. В первом случае проводимость кристалла $\sigma \sim 10^{-5} \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{см}^{-1}$, а ВАХ имеет вид серии последовательных по полю всплесков тока. При 23 атомах на полость контакт между кластерами лучше, что приводит к $\sigma \sim 10^{-1} \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{см}^{-1}$, а ВАХ выглядит как серия S-образных участков. Предполагается, что в первом случае в поле происходит резонансное туннелирование между уровнями кластеров в соседних полостях, а во втором – пробой между минизонами теллура, возникшими от модуляции матрицей цеолита.

В программе создания новых материалов для электроники важное место занимают сверхрешетки с нелинейными ВАХ [1]. Использование цеолитов в качестве матриц с правильными решетками полостей или каналов атомных размеров, в которых можно получать трехмерные системы кластеров или нитей, дает возможность конструировать новые типы твердых тел – нитяные и кластерные кристаллы (сверхрешетки) более чувствительные к внешним воздействиям, чем обычные кристаллы [2]. На рис. 1 показана одна большая полость цеолита типа X (фожазита). Диаметр полости $\sim 13 \text{ \AA}$, диаметр окон $8 - 9 \text{ \AA}$. Из таких полостей образуется решетка типа алмаза с постоянной $24,6 \text{ \AA}$. В каждой

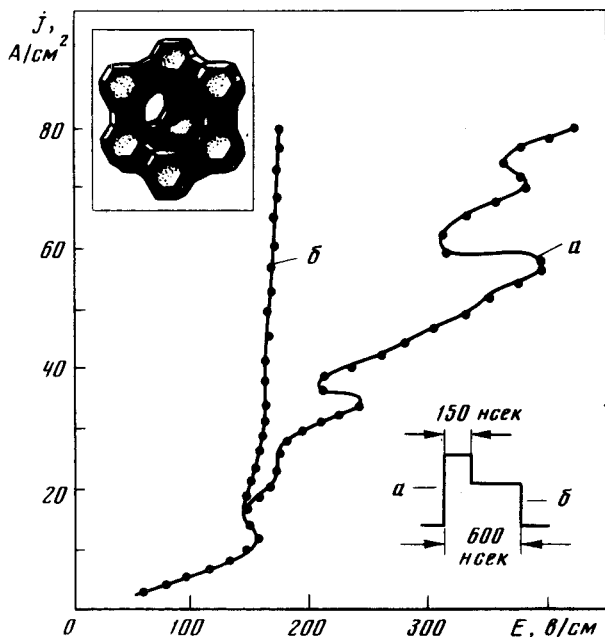


Рис. 1. ВАХ кластерного кристалла NaXTe_{23} , полученная на прямоугольных импульсах длительностью 600 нсек в режиме источника тока при $T = 293 \text{ K}$. Ветви "а" и "б" соответствуют переднему и заднему фронтам импульса. В левом верхнем углу показано строение большой полости в цеолите типа X

большой полости можно плотно разместить до 23 атомов теллура. Такие кластеры Te_{23} будут соприкасаться друг с другом через окна, образуя трехмерный массив теллура, объемно промодулированный диэлектрической матрицей цеолита. Если в качестве матрицы использовать цеолит NiNaX , где часть Na^+ на стенках полостей замещена на Ni^{++} , и ввести в нее теллур под давлением 5 – 6 кбар из расплава, то число атомов в кластерах, определенное по плотности монокристаллов действительно близко к предельному и составляет 22 – 23. Такой монокристалл имеет проводимость $\sigma \sim 10^{-1} \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{см}^{-1}$ при $T = 300 \text{ K}$, что близко к проводимости исходного массивного теллура. ВАХ таких кристаллов имеют вид серии S-образных участков (рис. 1). Характеристика на рис. 1 получена на монокристаллах размером 0,2 мм контактным способом в режиме источника тока на прямоугольных импульсах, длительностью 600 нсек. Ветвь "а", имеющая серию S-образных участков снята по переднему фронту импульса и таким образом представляет ВАХ на импульсах 150 нсек.

В отличие от массивного Te S-образные ВАХ наблюдаются в широком температурном интервале 77 – 373 K, критические значения токов и полей на порядок ниже, имеется не один, а серия S-образных участ-

ков. В рамках представлений о механизме S-образных ВАХ массивного теллура [3], можно предполагать, что в случае кластерного кристалла NiNaXTe_{23} ВАХ есть результат расщепления энергетического спектра массивного теллура под действием объемной модуляции матрицей цеолита на серию минизон, между которыми и происходит пробой в электрическом поле [4].

Совершенно иная картина получается, если в качестве матрицы взять цеолит NaX . При тех же технологических условиях в чисто натриевую форму цеолита входит только по 16 атомов Te на каждую полость. 16-ти атомные кластеры образуют кластерный кристалл NaXTe_{16} со слабым взаимодействием между кластерами и проводимостью $\sigma \sim 10^{-5} \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{см}^{-1}$ при $T = 280 \text{ К}$. ВАХ такого кристалла показана на рис. 2. Характеристика получена на отдельных прямоугольных импульсах длительностью ~ 10 мксек в режиме источника напряжения при $T = 280 \text{ К}$ с использованием двух галлиевых контактов.

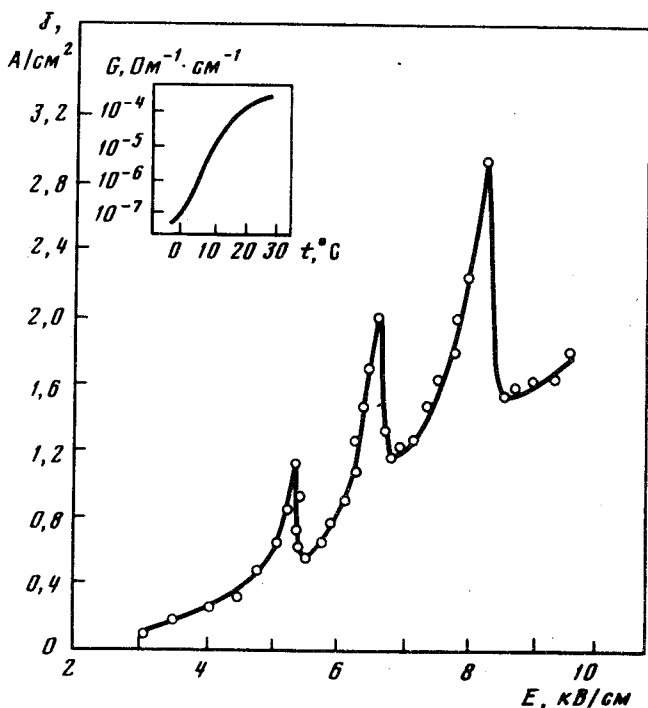


Рис. 2. ВАХ кластерного кристалла NaXTe_{16} , полученная на отдельных прямоугольных импульсах длительностью ~ 10 мксек в режиме источника напряжения при $T = 280 \text{ К}$. В левом верхнем углу показана температурная зависимость проводимости кристалла NaXTe_{16} в поле $E = 10^3 \text{ В/см}$

Учитывая, что в этом случае кластеры Te_{16} можно рассматривать как хорошо локализованные микрочастицы, всплески тока на рис. 2 могут трактоваться как результат резонансных туннельных переходов,

когда под действием поля совмещаются уровни соседних кластеров. Полагая среднее расстояние между центрами кластеров $\sim 12 \text{ \AA}$ и $E = 10^3 \text{ В/см}$ получается расстояние между уровнями в кластере $\Delta \sim 10^{-4} \text{ эВ}$ в предположении однородного распределения поля по кристаллу. Однако в среде, обладающей внутренними неустойчивостями возможно образование неоднородностей, тогда величина Δ будет больше.

Подобные ВАХ со всплесками тока наблюдаются лишь при температурах ниже комнатной. Температурная зависимость проводимости представлена в левом верхнем углу рис. 2. С ростом температуры в области $273 \text{ К} \leq T \leq 293 \text{ К}$ у кристаллов NaXTe_{16} наблюдается резкое увеличение проводимости. В низкоомном состоянии т. е. при $T \geq 293 \text{ К}$ ВАХ носят преимущественно S-образный характер.

Структура микрокластеров Te_{23} и Te_{16} и механизм их контакта друг с другом, равно как и структура всего кристалла, пока не известны, но рассматривая поведение NaXTe_{16} необходимо учитывать два обстоятельства. Те, как и другие халькогены, может образовывать как цепочечные, так и кольцевые конструкции и эти тенденции борются с необходимостью локализации в полостях заданной геометрии. У 16-ти атомного кластера в полости еще есть достаточно места, чтобы в зависимости от температуры, например, могла реализоваться та или иная конфигурация. Так в очень хорошо изолированных друг от друга полостях цеолита NaA теллур существует в виде необычной кольцевой модификации Te_8 [5] и ведет себя как диэлектрик.

Таким образом, вид ВАХ кластерных кристаллов теллура в матрицах цеолита типа X (трехмерных сверхрешеток) зависит от степени локализации кластеров и механизма проводимости системы.

Физико-технический институт
им. А.Ф.Иоффе
Академии наук СССР

Поступила в редакцию
14 февраля 1980 г.

Литература

- [1] Л.В.Келдыш. ФТТ, **4**, 2265, 1962.
- [2] В.Н.Богомолов. УФН, **124**, 171, 1978.
- [3] W. Hoerstel, R.Link, R.Neubert. Phys. Stat. Sol (a), **19**, 451, 1973.
- [4] В.Н.Богомолов, А.И.Задорожний, Т.М. Павлова, В.П. Петрановский. Письма в ЖТФ, **5**, 1335, 1979.
- [5] В.Н.Богомолов, А.И.Задорожний, В.П.Петрановский, А.В.Фокин, С.В.Холодкевич. Письма в ЖЭТФ, **29**, 411, 1973.