

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОЛИКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ ПЛЕНОК $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$

А.А.АГАСИЕВ, М.З.МАМЕДОВ, Х.И.АСЛАНОВА, Т.Ш.АБДУЛЛАЕВ

*Бакинский государственный университет,
AZ 1148, Баку, ул.З.Халилова, 23*

Пленки $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$ получены методом магнетронного распыления при постоянном токе. Исследовано ВАХ поликристаллических пленок $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$. ВАХ содержит два линейных участка с различными наклонами в области линии 0,7В, а другой - в середине области ($0,7 \leq U \leq 0,9$)В. Показано наличие барьера Шоттки, определен коэффициент неидеальности барьера и ряд базовых сопротивлений. Измерения проводились при комнатной температуре.

ВВЕДЕНИЕ

В последнее десятилетие круг применения тонкопленочной технологии стал необычайно широким. На ее основе, например, изготавливаются активные компоненты различных устройств вычислительной техники и техники связи. С расширением сферы применения появляется необходимость в осмыслении и улучшении методов получения и измерения тонких пленок. И наоборот, достижения тонкопленочной технологии приводят к разработке и производству все более сложных приборов на основе полупроводниковых, сегнетоэлектрических, магнитных, оптических и сверхпроводниковых материалов [1].

Поверхностный барьер играет центральную роль в теории электрических свойств границы раздела металл-полупроводник, поскольку им определяются вольтамперные характеристики такой структуры.

Высота потенциального барьера определяется плотностью поверхностных состояний или ловушек. Поверхностные состояния и ловушки образуются вследствие возникновения по тем или иным причинам вблизи границы раздела металл-полупроводник потенциальных ям, которым соответствуют энергетические уровни в запрещенной зоне полупроводника. Они оказывают влияние на высоту барьера, захватывая дырки и электроны.

В технологии приборов важное значение имеют и два типа границ раздела окисел-полупроводник. Граница раздела первого типа возникает при образовании настолько тонкого промежуточного слоя окисла между металлическим электродом и полупроводником, что через него может протекать значительный ток. Такой слой влияет на высоту барьера контакта и при его наличии изменяются вольт-амперные характеристики [2].

Специально выращенные слои окисла используются при создании высоковольтных солнечных батарей на основе структуры металл-окисел-полупроводник. Тонкий промежуточный слой окисла может также вырасти постепенно в процессе работы диода, что приведет к ухудшению его рабочих характеристик. Следовательно, тонкий промежуточный слой окисла может в одних случаях играть полезную роль, а в других снижать надежность приборов. Если слой окисла настолько толст, что плотность тока через контакт определяется проводимостью окисла, то диод не может играть роль электрического контакта и его вольт-амперные характеристики уже не зависят от высоты барьера.

$\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$ сегнетоэлектрик с высокой температурой фазового перехода [3,4] и интересными оптическими, пьезоэлектрическими и электрооптическими свойствами [5]. В [6] рассмотрены блочные пленки $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$ и исследовано влияние сегнетоэлектрического фазового перехода на температурную зависимость

проводимости. Естественно, исследование тонких пленок откроет новые возможности и расширит область практического применения.

Целью работы было исследование вольт-амперной характеристики поликристаллических пленок $\text{V}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Пленки $\text{V}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$ были получены магнетронным распылением на постоянном токе, рабочей средой служили Ar и O_2 (95%- Ar , 5%- O_2) [5]. В качестве мишени использовалась шайба из $\text{V}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$ диаметром ~ 56 мм и толщиной 3мм, изготовленный горячим прессованием порошка стехиометрического состава. В процессе напыления плотность ионного тока менялась в пределе $j=0,086\text{A}/\text{cm}^2$, при этом скорость осаждения составляла $\sim (30\div 35)\text{nm}/\text{min}$. Для полного восстановления полученные пленки отжигали на воздухе при температурах 400°C , 600°C и 800°C в течении 5 часов [6]. Для исследования использовали структуры $\text{Me-V}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}\text{-Me}$. В качестве электродов применялись напыленные слои из Au , Al и SnO_2 . Проведенные электронно-микроскопические исследования показали, что пленки имеют поликристаллическую структуру и в зависимости от температуры подложки размеры кристаллитов были различными. Измерения проводились при комнатной температуре и при постоянном токе.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЯ

На Рис.1 представлена зависимость $\ln(I)$ от прямого смещающего напряжения тонких пленок $\text{V}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$. Эта кривая состоит из двух линейных областей с различными наклонами, одна из них в области ниже $\leq 0,7$ В, а другая в середине области ($0,7 \leq U \leq 0,9$)В и демонстрирует экспоненциальную зависимость между током и напряжением. Наиболее интересная зависимость для диода Шоттки выявляет линейный характер полулогарифмического графика, давая тем самым возможность определить важный параметр диода фактор неидеальности – n и ограничивающий ток насыщения I_s .

$I(\text{A})$

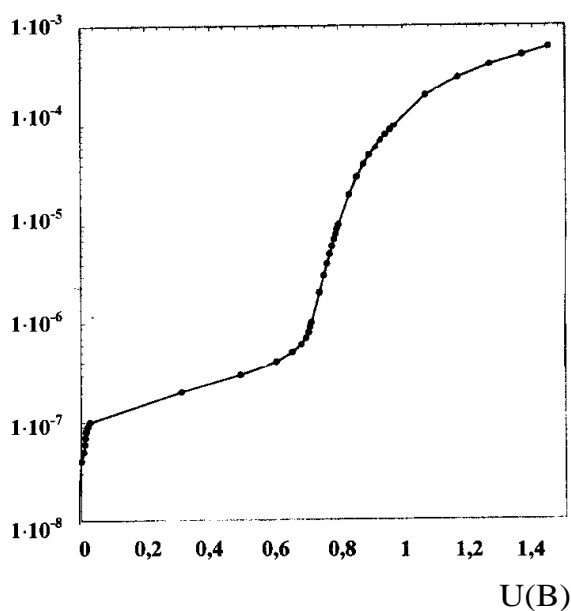


Рис.1.

ВАХ пленок $\text{V}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$ в полулогарифмическом масштабе (по оси ординат отложен логарифм тока)

Для наиболее общей теории барьера Шоттки, базирующейся на явлении термоэлектронной эмиссии (ТЭ) зависимость тока от напряжения имеет вид [3]:

$$I = I_s \exp\left[\left(\frac{qU}{kT}\right) - 1\right], \quad (1)$$

где q -электрический заряд, k -постоянная Больцмана, T -абсолютная температура, U – приложенное напряжение и I_s ток насыщения, выраженный как

$$I_s = AA^*T^2 \exp(-q\phi_b/kT), \quad (2)$$

где A -площадь диода, A^* -модифицированная постоянная Ричардсона и ϕ_b – эффективная высота потенциального барьера металла с полупроводником. Экстраполированием кривой в середине области линейного смещения до нуля оси U было найдено значение $I_s = 6,13 \cdot 10^{-15}$ А, а из наклона этой линейной области был определен фактор неидеальности $n=1,5$. Когда диод имеет ряд параллельных или последовательных сопротивлений R_s и фактор неидеальности $n>1$, то употребляемые на практике диоды Шоттки имеют механизм прохождения тока, отличный от описываемого термоэлектронной теории. Для диода с высокими значениями R_s и n отношение между прямым смещающим напряжением и током для $U > 3kT/q$ [3] может быть записано в виде

$$I = I_s \left[\exp \frac{q}{kT} (U - IR_s) \right]. \quad (3)$$

Метод изготовления идеального диода Шоттки (т.е. $n=1$) был впервые предложен Норде [7], для случая $1 < n < 2$ Самон и Ясамура [8], а для случая $n \gg 1$ Бойлен [9] модифицировал рассмотрение Норда для определения значений n , R_s и ϕ_b из данных $I - f(U)$ для любого диода Шоттки [10]. Прологарифмируя (3), получаем:

$$\ln \frac{I}{I_s} = \frac{q}{kT} (U - IR_s). \quad (4)$$

Из (4) с учетом (2) и фактора неидеальности получаем, что

$$U = IR_s + n\phi_b + n \cdot \frac{kT}{q} \ln \left(\frac{I}{A \cdot A^* T^2} \right). \quad (5)$$

Дифференцируя уравнение (5) по отношению к I и сгруппировав члены, получим

$$\frac{d(U)}{d \ln(I)} = IR_s + n \left(\frac{kT}{q} \right). \quad (6)$$

График зависимости $d(U)/d \ln(I)$ от I дает значение R_s , а $n \cdot \frac{kT}{q}$ – отрезок отсекаемый

на оси Y . График $d(U)/d \ln(I)$ от I для тонкой пленки $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$ показан на Рис.2а. Значения неидеального коэффициента n и ряда сопротивлений R_s соответствуют 1,5 и 1030 Ом.

Обозначая $IR_s + n \cdot \phi_b = H(I)$ в уравнении (5), получаем:

$$\begin{aligned} U &= H(I) + n \cdot \frac{kT}{q} \ln \left(\frac{I}{A \cdot A^* T^2} \right) \\ H(I) &= U - n \cdot \frac{kT}{q} \ln \left(\frac{I}{A \cdot A^* T^2} \right). \end{aligned} \quad (7)$$

Учитывая (5) и (7) можно получить:

$$H(I) = IR_s + n \cdot \phi_b + n \cdot \frac{kT}{q} \ln \left(\frac{I}{A \cdot A^* T^2} \right) - n \cdot \frac{kT}{q} \ln \left(\frac{I}{A \cdot A^* T^2} \right) = IR_s + n \cdot \phi_b.$$

$$H(I) = IR_s + n \cdot \varphi_b. \quad (8)$$

График зависимости $H(I)$ от I также дает прямую линию Рис.2б, пересекающую ось Y в точке $n\varphi_b$ при значении n полученном из уравнения (6). Как видно, значения n , полученные из обоих графиков, хорошо согласуется друг с другом. Наклон графика (Рис.2б) позволяет второй раз определить R_s . Этот факт можно использовать для подтверждения непротиворечивости данного подхода. Отклонение от линейности характеристик $\ln I - f(U)$ обычно определяется наличием границ и сопротивления R_s в устройстве [11].

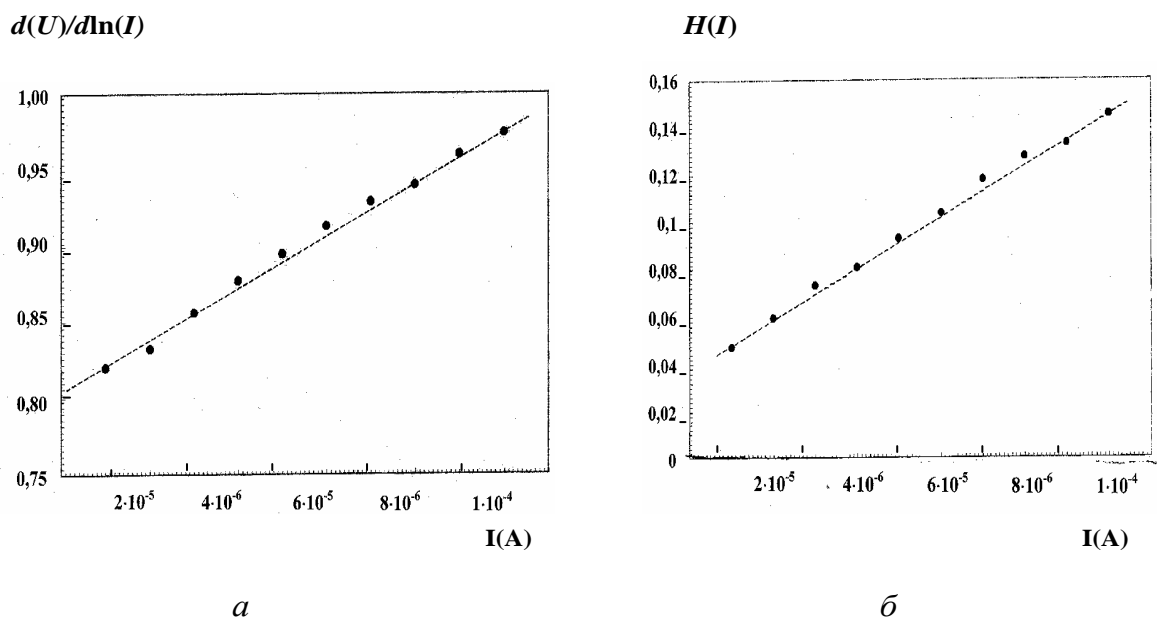


Рис. 2.

График зависимости полученное из уравнений (5) и (6) для пленки $Bi_4Ti_3O_{12}$.
 а - $d(U)/d\ln(I)$ от I , б - $H(I)$ от I

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исследование ВАХ структур на основе пленок $Bi_4Ti_3O_{12}$ при комнатной температуре показало образование барьера Шоттки с коэффициентом неидеальности $n=1,5$ и рядом сопротивлений $R_s=1030\text{Ом}$, которые хорошо согласуются со значениями, найденными другими исследователями [12].

1. Дж.Поута, К.Ту, Дж.Мецер, *Тонкие пленки. Взаимная диффузия и реакции.* Москва, Мир, (1982) 576.
2. К.Л.Чопра, *Электрические явления в тонких пленках.* М., Мир, (1972) 434.
3. S.M.Sze, *Physics of Semiconductors Devices, John Wiley and Sons, New York,*(1981).
4. S.E.Cummins, Proc IEEE, **55** (1967) 1536.
5. А.А.Агасиев, М.З.Мамедов and М.В.Муратов, *J. Phys. III France*, **6** (1996) 853.
6. А.А.Агасиев, *Формирование и электрофизические свойства пленок сложных металлооксидов.* Докторская диссертация Баку, (1995) 379.
7. Н.Norde, *J.Appl. Phys.*, **50** (1979) 5052
8. К.Sato and Y.Yasamura, *J.Appl.Phys.*, **58** (1985) 3655.
9. К.Е.Bohlin, *J.Appl. Phys.*, 60(3), (1986) 3842.

10. S.K.Cheung and N.W. Cheung, Appl. Phys., Lett., **49** (1986) СТР 85
11. M.A.Green, F.D.King and J.Shewchin, *Solid State electron Energy Materials and Solar Cells*, **32** (1994) 115.
12. I.Pintilie, D. Petre, Trap characterization for Bi₄Ti₃O₁₂ thin films by thermally stimulated currents, Applied Physics A, **69** (1999) 105.

Bi₄Ti₃O₁₂ POLİKRIŠTALLİK NAZİK TƏBƏQƏSİNİN ELEKTRİK XASSƏLƏRİ

A.A. AĞASIYEV, M.Z. MƏMMƏDOV, H.İ.ASLANOVA, T.S.ABDULLAYEV

Bi₄Ti₃O₁₂ təbəqəsi sabit sərəyanda maqnetron tozlanması üsulu ilə alınmışdır. Bi₄Ti₃O₁₂ polikristallik nazik təbəqəsinin volt-ampere xarakteristikası (VAX) tədqiq edilmişdir. VAX müxtəlif meyilliyə malik iki xətti hissədən ibarətdir, 0,7V-dan kiçik, digəri isə (0,7 ≤ U ≤ 0,9)V aralığında yerləşir. Şottki baryerinin mövsudluğu, baryerin qeyri-ideallıq əmsalı və bir sıra baza müqavimətləri təyin edilmişdir. Ölçmələr otaq temperaturunda aparılmışdır.

ELECTRICAL PROPERTIES OF POLYCRISTALLINE FILMS of Bi₄Ti₃O₁₂

A.A.AGASIEV, M.Z. MAMEDOV, H.I.ASLANOVA, T.Sh.ABDULLAYEV

Films Bi₄Ti₃O₁₂ were obtained by the method of magnetron sputtering on direct current. Volt-ampere dependence of polycrystalline films of Bi₄Ti₃O₁₂ was investigated. VAD consisted from two linear regions with different bias in area more 0,7V and other in the middle of area (0,7 ≤ U ≤ 0,9)V. It was showed excising of Schottky barrier determined coefficient of nonideality and number of base resistances. Measurement leded at room temperature.

Редактор: Э.Гусейнов