

# Электрические свойства кремниевых диодов Шоттки, содержащих металлические пленки различного состава

© И.Г. Пашаев<sup>¶</sup>

Бакинский государственный университет,  
Az-1148 Баку, Азербайджан

(Получена 2 апреля 2012 г. Принята к печати 21 мая 2012 г.)

Получены и исследованы диоды Шоттки  $Au_xTi_{100-x}/n-Si$ , а также изучены электрофизические свойства диодов, содержащих металлические пленки различного состава ( $x = 0, 14, 30, 38, 60, 80, 100$ ). Рентгенофазовым анализом установлено, что пленка сплава  $Au_{38}Ti_{62}$  имеет аморфную структуру, а остальные пленки  $Au_xTi_{100-x}$  — поликристаллическую. Определены основные параметры диодов Шоттки в зависимости от состава и структуры пленок металла. В результате выявлено, что электрофизические свойства диодов Шоттки  $Au_xTi_{100-x}/n-Si$  связаны с изменением состава и структуры пленок металла.

## 1. Введение

Настоятельной потребностью современной полупроводниковой техники остается увеличение надежности и улучшение качества электронных приборов, в том числе приборов на основе барьеров Шоттки. В литературе, посвященной физике и технологии контакта металл–полупроводник, изучена лишь роль полупроводника в происходящих процессах, ролью металла в большинстве случаев пренебрегали. Роль металлов и его кристаллической структуры либо не рассмотрена, либо недостаточно изучена. Чтобы идентифицировать роль металла, были изучены свойства диодов Шоттки в зависимости от структуры металла и размера области контакта. Доказано, что главные параметры диодов Шоттки, такие как плотность тока насыщения, высота барьера, напряжение пробоя, коэффициент неидеальности, зависят от размера области контакта и толщины пленки металла [1–5]. Экспериментальные результаты были объяснены в модели неоднородного контакта [2,3,5]. Согласно этой модели, контакт рассматривается как параллельное соединение элементов с различными высотами барьера и различными другими параметрами. Для модели неоднородного контакта предложена геометрическая модель устройства диодов Шоттки [3,5]. Изучено влияние микроструктуры металла на электрические характеристики контакта. Для улучшения качества диодов Шоттки предлагается использовать аморфные пленки металлов. Доказано, что диоды Шоттки с аморфными пленками металлов более надежны и термостабильны [1–6], что важно для электроники высокой температуры. В последние годы XX столетия внимание физиков и материаловедов привлечено к таким конденсированным средам, для которых характерно неупорядоченное расположение атомов в пространстве. Открытие аморфных металлов внесло большой вклад в науку о металлах, существенно изменив наши представления о них. Оказалось, что аморфные металлы разительно отличаются по своим свойствам от металлических кристаллов с упорядоченным расположением атомов [1–7].

Известно, что аморфные пленки металлов хорошо выполняют функции диффузионных барьеров в микроэлектронных структурах [1,5,6,8] и позволяют изготавливать диоды Шоттки (ДШ) с высоким потенциальным барьером (до 1 эВ), что представляет интерес для солнечной энергетики [1,2,8].

С изменением температуры и состава пленки металла происходит структурное изменение металлических сплавов, в связи с этим изменяются и параметры ДШ [1,5,8].

Данная работа посвящена получению ДШ  $Au_xTi_{100-x}/n-Si$  и изучению влияния пленок металла различного состава и структуры на электрофизические свойства ДШ.

## 2. Экспериментальный процесс

Для изготовления ДШ в качестве полупроводника использовали кремниевую пластину  $n$ -типа проводимости с ориентацией (111) и удельным сопротивлением 0.7 Ом·см. В качестве металла использовали сплав  $Au_xTi_{100-x}$  ( $x = 0, 14, 30, 38, 60, 80, 100$ ). Пленки сплава  $Au_xTi_{100-x}$  получены методом электронно-лучевого испарения из двух источников. Структура сплава пленки контролировалась методом рентгенографического анализа на промышленной установке ДРОН-2. Рентгенограмма приведена на рис. 1.

Как видно из рис. 1, пленка сплава  $Au_{38}Ti_{62}$  имеет аморфную структуру, а остальные пленки — поликристаллическую. Последний вывод сделан на основании того, что наблюдается четко выраженная серия максимумов и минимумов, свидетельствующая не только о правильном расположении ближайших атомов, но и о существовании дальнего порядка (в кристаллах можно провести координаты, по которым взаимное расположение атомов на одном и том же расстоянии во много раз превышает величину элементарной ячейки) [9].

В аморфной пленке  $Au_{38}Ti_{62}$ , как и в кристаллах, первый максимум полностью разрешен, т.е. первый минимум касается оси абсцисс. Это значит, что на определенном угловом расстоянии плотность рассеянных электронов практически равна нулю. Максимумы

<sup>¶</sup> E-mail: islampachayev@rambler.ru

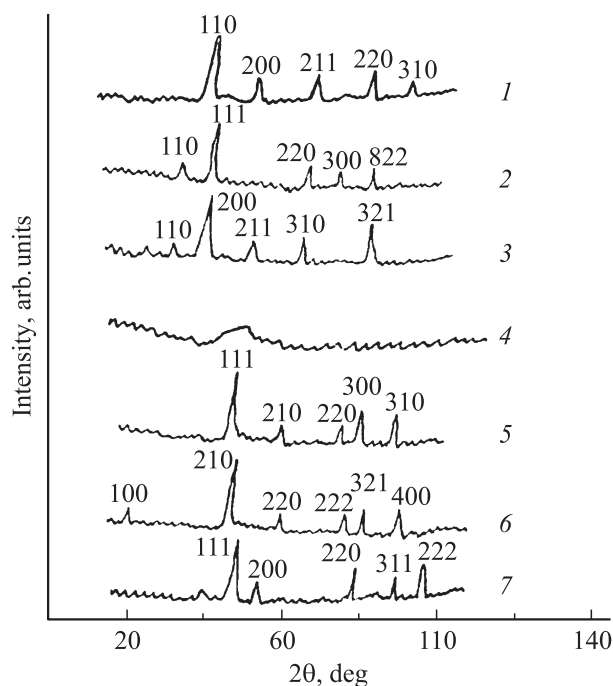


Рис. 1. Рентгенограммы пленок сплавов  $\text{Au}_x\text{Ti}_{100-x}$ :  $x = 0$  (1), 14 (2), 30 (3), 38 (4), 60 (5), 80 (6), 100 (7).

и минимумы проявляются благодаря наличию разных межатомных расстояний, стремясь в пределе к плавной кривой. В аморфной пленке  $\text{Au}_{38}\text{Ti}_{62}$  соблюдается только ближний порядок в пределах каждой элементарной ячейки, построенной так же, как и в кристалле; за пределами ячейки порядок нарушается. Это происходит потому, что каждая следующая ячейка несколько повернута относительно предыдущей, причем направление поворота — статистическая величина [10].

### 3. Результаты и обсуждение

В результате рентгенофазового анализа системы  $\text{Au-Ti}$  установлено, что в зависимости от количества атомов  $\text{Au}$  до состава  $\text{Au}_{38}\text{Ti}_{62}$  периоды кристаллической решетки изменяются, не подчиняясь закону Вегарда [9].

Из литературы известно [9], что  $\text{Ti}$  имеет объемно-центрированную решетку  $J$  с периодом элементарной ячейки  $a = 3.33 \text{ \AA}$ ,  $\text{Au}$  имеет гранецентрированную решетку  $F$  с периодом  $a = 3.52 \text{ \AA}$ . Также есть сведения о существовании гексагональных модификаций этих компонентов. Однако полученные нами дифрактограммы чистых  $\text{Au}$  и  $\text{Ti}$  показали, что рефлексы дифрактограммы индицируются на основе примитивных кубических решеток (см. таблицу). Поэтому, приняв за основу кубическую решетку, проиндицировали рентгенограммы, соответствующие различным составам  $\text{Au}_x\text{Ti}_{100-x}$ .

Выявлено, что увеличение количества  $\text{Au}$  в области  $x = 0, 14, 30, 38$  приводит к кристаллизации образца.

Однако нет никаких закономерных изменений периода решетки.

Изменение периода и типа решетки связано со статистическим распределением отдельных атомов в неравноправных кристаллических положениях ( $J \rightarrow P : F \rightarrow P$ ).

На рис. 2 представлены прямые ветви вольт-амперных характеристик (ВАХ) 7 исследованных партий ДШ, изготовленных с применением сплавов  $\text{Au}_x\text{Ti}_{100-x}$  с различным значением  $x$ . Как видно, характеристики контактов чувствительны к составу металлического сплава. Все ВАХ диодных структур в полулогарифмическом масштабе описываются прямой линией, как это следует из однородной модели Шоттки, которая справедлива для однородного контакта [3]. В наших случаях из всех изученных контактных структур относительно однородную границу раздела должен иметь ДШ  $\text{Au}_{38}\text{Ti}_{62}/n\text{-Si}$ , так как сплав  $\text{Au}_{38}\text{Ti}_{62}$  имеет аморфную структуру. Во всех других случаях граница неоднородна из-за поликристалличности пленки металла или металлического сплава. Анализ показывает, что ВАХ и однородного, и неоднородного контактов описываются одним и тем же законом. Таким образом, можно заключить, что прямолинейности в ВАХ полулогарифмическом масштабе

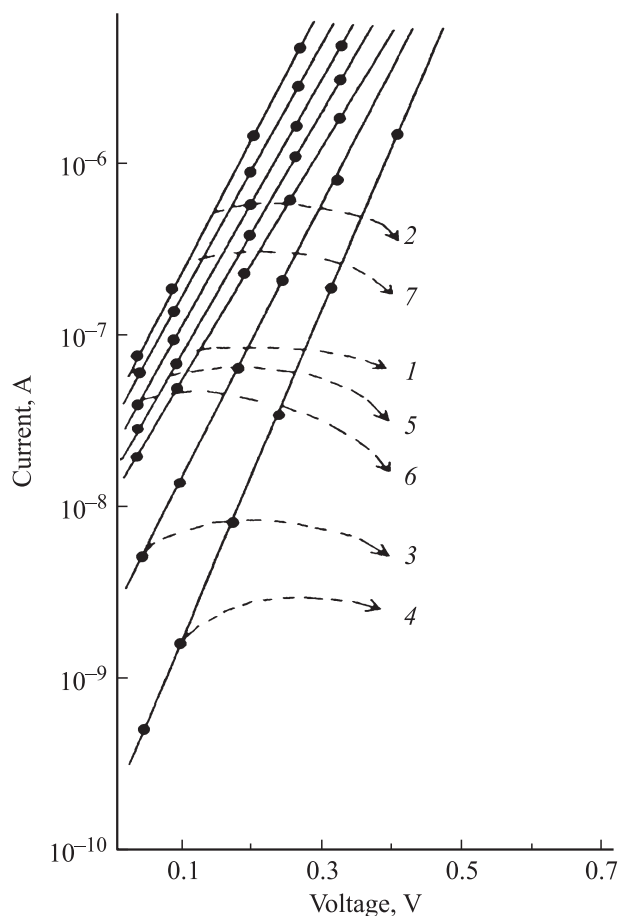


Рис. 2. Прямые ветви ВАХ ДШ  $\text{Au}_x\text{Ti}_{100-x}/n\text{-Si}$  с металлическими пленками различного состава:  $x = 0$  (1), 14 (2), 30 (3), 38 (4), 60 (5), 80 (6), 100 (7).  $T = 300 \text{ K}$ .

Межплоскостные расстояния  $d$ , индексы  $hkl$ , период  $a$  и тип решетки на основании рентгенограмм сплавов  $\text{Au}_x\text{Ti}_{100-x}$

№ пика	$x = 0$		$x = 14$		$x = 30$		$x = 38$		$x = 60$		$x = 80$		$x = 100$	
	$d, \text{\AA}$	$hkl$	$d, \text{\AA}$	$hkl$	$d, \text{\AA}$	$hkl$	$d, \text{\AA}$	$hkl$	$d, \text{\AA}$	$hkl$	$d, \text{\AA}$	$hkl$	$d, \text{\AA}$	$hkl$
1	2.356	110	2.797	110	3.083	110	—	—	2.058	111	4.430	100	2.018	111
2	1.690	200	2.254	111	2.311	200	—	—	1.564	210	2.016	210	1.800	200
3	1.364	211	1.408	220	1.824	211	—	—	1.266	220	1.566	220	1.239	220
4	1.175	220	1.275	300	1.435	311	—	—	1.199	300	1.266	222	1.110	311
5	1.054	310	1.163	222	1.175	321			1.100	310	1.199	321	16.037	222
											1.100	400		
$a, \text{\AA}$ тип	$\frac{3.33}{J}$		$\frac{3.92}{P}$		$\frac{4.45}{P}$		—		$\frac{3.52}{P}$		$\frac{4.45}{P}$		$\frac{3.52}{P}$	

недостаточно для утверждения об однородности границы раздела и справедливости модели Шоттки [3]. Для установления взаимосвязи между свойствами контактов и степени однородности границы нами были изучены зависимости высоты барьера и коэффициента неидеальности ДШ  $\text{Au}_x\text{Ti}_{100-x}/n\text{-Si}$  от процентного содержания компонентов в металлических сплавах. На рис. 3, *a, b* по-

казаны зависимости высоты барьера  $\phi_b$  и коэффициента неидеальности  $n$  для ДШ  $\text{Au}_x\text{Ti}_{100-x}/n\text{-Si}$  от содержания компонентов.

Высота барьера и коэффициент неидеальности вычисляются по известной формуле для ВАХ [3,11]:

$$I = SAT^2 \exp\left(-\frac{\phi_b}{kT}\right) \left[ \exp\left(\frac{eU}{nkT}\right) - 1 \right],$$

где  $I$  — ток,  $S$  — площадь контакта,  $A$  — постоянная Ричардсона,  $T$  — температура контакта,  $U$  — потенциал смещения,  $k$  — постоянная Больцмана,  $e$  — заряд электрона.

Указанные зависимости снимались при комнатной температуре для диодов с площадью  $S = 1200 \text{ мкм}^2$ .

Как отмечалось выше, в зависимости от количества атомов Au до получения состава  $\text{Au}_{38}\text{Ti}_{62}$  период кристаллической решетки изменяется линейно. С увеличением количества атомов Au увеличивается высота барьера и уменьшается коэффициент неидеальности ДШ (рис. 3, *a* и *b*). Образец состава  $\text{Au}_{38}\text{Ti}_{62}$  является аморфным. Из рис. 3 видно, что этому составу соответствует наибольшая высота барьера и наименьший коэффициент неидеальности ДШ. Представленные результаты позволяют заключить, что контакт с аморфным сплавом обладает сравнительно однородной границей раздела [1,3].

С дальнейшим увеличением количества Au (в области  $x = 38, 60, 80, 100$ ) уменьшается высота барьера и увеличивается коэффициент неидеальности ДШ. Это объясняется тем, что система Au—Ti образует твердые растворы.

Сравнивая результаты рентгенофазового анализа и величины параметров ДШ  $\text{Au}_x\text{Ti}_{100-x}/n\text{-Si}$ , можно заключить, что изменение параметров диодов связано именно с изменением состава и структуры пленки металлов.

#### 4. Заключение

Полученные результаты позволяют сделать вывод, что при составе  $\text{Au}_{38}\text{Ti}_{62}$  сплав является аморфным. Такому составу соответствует большая высота барьера ДШ и меньший коэффициент неидеальности ВАХ по сравнению с поликристаллической пленкой металла. В случае

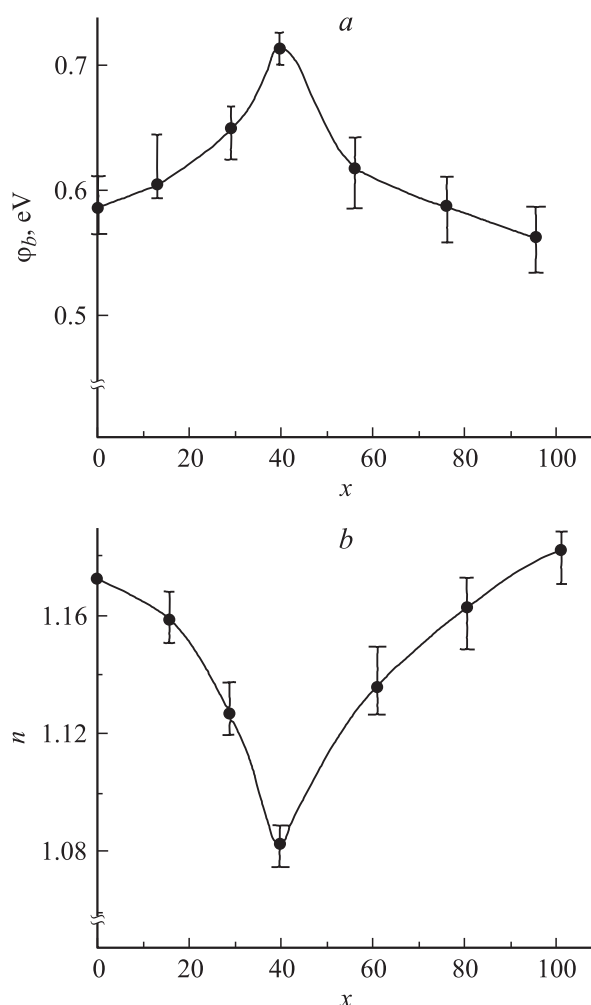


Рис. 3. Зависимости высоты барьера (*a*) и коэффициента неидеальности ВАХ (*b*) ДШ  $\text{Au}_x\text{Ti}_{100-x}/n\text{-Si}$  от состава сплава.

контакта аморфной пленки металла с кремнием граница раздела относительно однородна, с увеличением количества Au (в области  $x = 38, 60, 80, 100$ ) уменьшается высота барьера (высота барьера весьма чувствительна к составу металлического сплава) и увеличивается коэффициент неидеальности ДШ. Таким образом, электрофизические свойства ДШ  $\text{Au}_x\text{Ti}_{100-x}/n\text{-Si}$  зависят от состава и структуры пленки металла.

## Список литературы

- [1] D.K. Wickenden, M.J. Sisson et al. Solid-State Electron., **27**, 515 (1984).
- [2] Sh.G. Askerov, I.G. Pashayev. *Proc. Secong Int. Conf. on Technical and Physical Problems in Power Engineering* (Tabriz, 2004) p. 367.
- [3] Ш.Г. Аскеров. *Автореф. докт. дис.* (Баку, 1992).
- [4] K.T.-Y. Kung, I. Suni, M.-A. Nikolett. Appl. Phys. Lett., **55**, 3882 (1984).
- [5] Ш.Г. Аскеров, И.Г. Пашаев. *Тез. докл. Междунар. конф. „Fizika-2005“* (Азербайджан, 2005) с. 193.
- [6] И.В. Золотихин, Ю.И. Соколов. *ЭТ. Сер. 3. Микроэлектроника*, вып. 1 (130), 23 (1989).
- [7] Ю.А. Осипьян. *Наука и жизнь* (1988).
- [8] W. Wiley, I.H. Pereperko, I.E. Nordman. IEEE Trans. Industrial Electrton., **29**, 154 (1982).
- [9] А. Гипье. *Рентгенография кристаллов* (М., 1961).
- [10] К. Судзуки, Х. Фудзимори, К. Хасимото. *Аморфные металлы* (М., Металлургия. 1987).
- [11] А.И. Иващенко, Б.Е. Саморуков, А. Соломанов. *ФТП* **4**, 770 (1979).

Редактор Л.В. Шаронова

## Electrophysical properties of silicon Schottky diodes with metal films of various composition

I.G. Pashaev

Baku State University,  
Az-1148 Baku, Azerbaijan

**Abstract** In the given activity are received and investigated  $\text{Au}_x\text{Ti}_{100-x}/n\text{-Si}$  Schottky diodes, and also electrophysical properties of the diodes containing metal films of various composition ( $x = 0, 14, 30, 38, 60, 80, 100$ ) are studied. By means of X-ray phase analysis, it is established that the film of  $\text{Au}_{38}\text{Ti}_{62}$  alloy has amorphous structure, and the other films have polycrystalline one. Critical parameters of the Schottky diodes in dependence on composition and structure of metal films are determined. As a result, it is revealed that electrophysical properties of  $\text{Au}_x\text{Ti}_{100-x}/n\text{-Si}$  Schottky diodes are connected with change of composition and structure of metal films.