

ФЛУКТУАЦИИ ПОТЕНЦИАЛА ДИОДОВ (Al-TiW+PtSi)-nSi

И.М.ЭФЕНДИЕВА, Л.К.АБДУЛЛАЕВА, В.Х.ШАРБАТОВ, Ш.АЛТУНДАЛ*

*Институт Проблем Физики Бакинского Государственного Университета
AZ 1145, г.Баку, ул.З.Халилова, 23
Департамент Физики, Гази Университет*
06500, Анкара, Турция*

В статье приведены результаты исследования диодов на основе контакта металл-полупроводник. Анализ вольт-амперных и вольт-фарадных характеристик, полученных в широком диапазоне значений напряжения смещения и температур, выявил существование дополнительных источников носителей заряда и сопутствующих им флуктуаций потенциала.

ВВЕДЕНИЕ

Характеристики диодов на основе контакта металл-полупроводник весьма чувствительны к состоянию границы раздела. Даже незначительное количество поверхностных состояний и уровней в области пространственного заряда может оказать существенное влияние на приборные характеристики, тем самым коренным образом изменяя возможную область его применения. Цель настоящей работы - показать, что в диодах (Al-TiW+PtSi)-nSi, полученных методом магнетронного распыления, имеются неоднородности, обусловленные дискретностью заряда.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В представленной работе приведены результаты анализа вольт – амперных (ВАХ) и вольт-фарадных характеристик (ВФХ) диодов Шоттки (Al-TiW+PtSi)-nSi, полученных методом магнетронного распыления [1]. Пленки осаждались на кремниевые пластинки n-типа марки КЭФ-0,7 с ориентацией (111). Интерес, проявленный к этим диодам, обусловлен образованием силицида платины на указанном срезе кремниевой подложки. Выбор сечения кремния обусловлен его кристаллической структурой, которая в направлении (111) содержит деформированные гексагональные пустоты [2], могущие оказать ощутимое влияние на процесс формирования силицидной пленки и характер переноса носителей через контакт. Образование силицида приводит к смещению границы раздела металл-полупроводник вглубь полупроводника. В этой связи для объяснения полученных результатов нами выбрана модель контакта без диэлектрического зазора [3].

В качестве диффузионного барьера между пленками PtSi и Al расположен аморфный сплав двух инертных металлов Ti и W ($Ti_{10}W_{90}$). Проведенная Оже-спектроскопия выявила отсутствие следов алюминия на контакте PtSi-nSi [1]. Диодная матрица содержит 14 диодов с размерами $(1-14) \times 10^{-6} \text{ см}^2$. Нами проанализированы результаты исследования диодов с размерами площадей $7 \times 10^{-6} \text{ см}^2$, $8 \times 10^{-6} \text{ см}^2$ и $11 \times 10^{-6} \text{ см}^2$, соответственно.

Измерения ВАХ и ВФХ были проведены с использованием измерителя с программным обеспечением Keithley 614 и импедансного анализатора HP4192A LF соответственно в широком диапазоне напряжений и температур. Вольт-

фарадные характеристики были получены на частоте 100кГц при переменном сигнале 10мВ [4].

Полученные результаты, в основном, коррелируют (Рис.1) с известной зависимостью тока от напряжения для реальных диодов на основе барьеров Шоттки при значениях прикладываемого напряжения $V \gg 3kT/q$ [3]

$$I = I_s \exp\left(\frac{qV}{nkT}\right) = SA^* T^2 \exp\left(-\frac{q\phi_b}{kT}\right) \exp\left(\frac{qV}{nkT}\right), \quad (1)$$

где ϕ_b - высота потенциального барьера, I_s - ток насыщения, n - коэффициент неидеальности, остальные обозначения - общепринятые.

При выполнении всех условий диодной теории наблюдается уменьшение скорости роста тока в прямом направлении и увеличение в обратном. Слабый рост тока при напряжениях более 0,4 В и отклонение ВАХ от прямой линии обусловлено влиянием последовательного сопротивления диода.

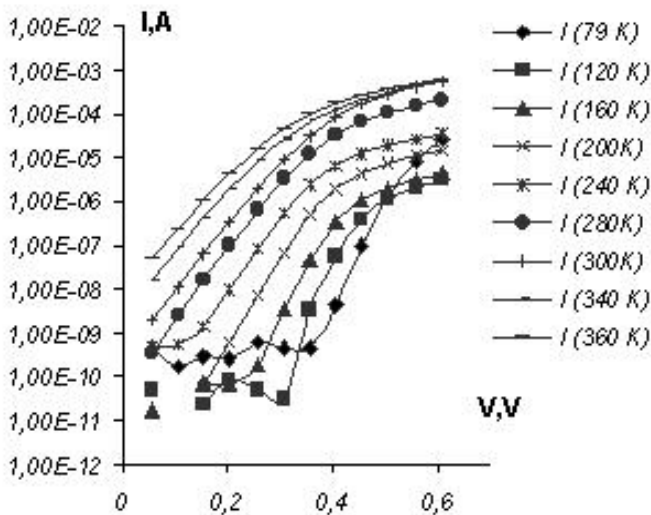


Рис.1.

ВАХ диодов (Al-TiW+PtSi)-nSi.

Плотность тока практически не зависит от площади диода, что говорит о малости поверхностных токов утечки и доминировании объемных процессов переноса заряда.

На основе полученных данных вычислены высота потенциального барьера и коэффициент неидеальности, выявлена их температурная зависимость (Рис.2). Зависимость коэффициента неидеальности от температуры описывается как $n = a + T^*/T$.

На основе анализа полученных данных [5] определены значения T^* , равные 231К, 352К, 358К и значения $d\phi_b/dT$, равные $9,05 \times 10^{-4}$ эВ/К, $4,67 \times 10^{-4}$ эВ/К и $7,73 \times 10^{-4}$ эВ/К соответственно для диодов №7, №8, №11.

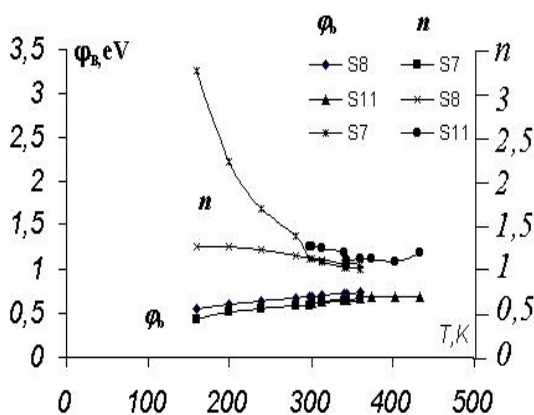


Рис.2.

Зависимость высоты потенциального барьера ϕ_b и коэффициента неидеальности n от температуры.

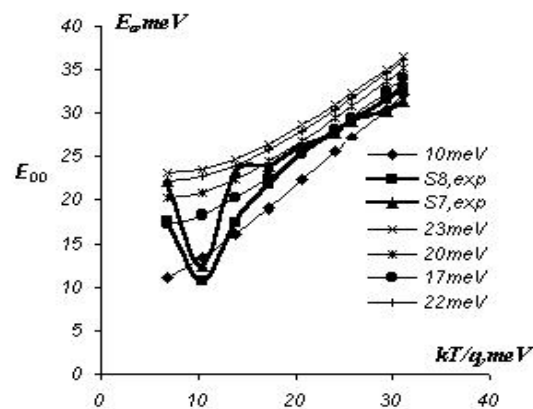


Рис.3.

Зависимость характеристической энергии E_0 от температуры.

Полученные результаты [6] указывают на определенную роль механизма туннелирования электронов через область пространственного заряда (ОПЗ) [3], которое возможно при достаточно тонком барьере и низкой температуре. Однако наши исследования проводятся при умеренном легировании полупроводника и в широком диапазоне изменения температуры, что в принципе должно исключать туннелирование при температурах выше температуры жидкого азота. Кроме того, малые значения высоты потенциального барьера указывают на существование глубоких центров [3].

Из зависимости E_o от kT/q , где $E_o = nkT$ (Рис.3.), определено экспериментальное значение параметра E_{oo} , характеризующего вероятность туннелирования с дна зоны проводимости [7]. Сравнение теоретически построенных

$$E_o = E_{oo} \operatorname{cth}\left(\frac{E_{oo}}{kT}\right) \quad (2)$$

зависимостей, рассчитанных для различных значений E_{oo} , с экспериментальными дало хорошую корреляцию. Расчет, проведенный для исследуемых диодов, позволил определить концентрацию доноров N_{dd} , являющихся причиной туннелирования (N_{dd} равно $1,49 \times 10^{19} \text{ см}^{-3}$; $8,17 \times 10^{18} \text{ см}^{-3}$; $2,8 \times 10^{19} \text{ см}^{-3}$ соответственно для диодов №7, №8, №11). Количество доноров, превышающее исходное, приводит к неоднородному распределению потенциала: площади пятен с флуктуациями потенциала: $1,65 \times 10^{-13} \text{ см}^{-2}$, $2,47 \times 10^{-13} \text{ см}^{-2}$, $1,8 \times 10^{-13} \text{ см}^{-2}$ соответственно для тех же диодов [6,8]. Как видно, оценка полученных результатов указывает на существование пятен с флуктуациями потенциала нанометровых размеров, тогда как площадь самих пустот порядка $0,146 \text{ нм}^2$. Таким образом, существуют «кластеры», объединяющие порядка 10^3 таких пустот, которые и являются источниками туннелирования. Флуктуации потенциала сопровождаются флуктуацией ширины ОПЗ, что и создает возможность туннельного прохождения электронов через барьер.

Сравнение экспериментальных кривых с теоретическими зависимостями для различных значений E_{oo} показало, что с ростом температуры все меньшее количество носителей участвует в переносе тока. Изменение характера переноса сказывается в ступенчатом изменении экспериментальной зависимости E_o от kT/q . Анализ теоретических и экспериментальных зависимостей E_o от kT/q для исследуемых диодов и ранее полученных результатов / 5,6/ позволяет утверждать, что в исследуемом температурном диапазоне имеет место: при $(200 \div 230) \text{ К}$ - полевая эмиссия, $(230 \div 300) \text{ К}$ - термо-полевая, $(300 \div 360) \text{ К}$ вклад термо-полевой эмиссии убывает, а термо-электронной эмиссии возрастает.

Как показано (Рис.1) на ВАХ в области $79 \div 200 \text{ К}$ при малых напряжениях имеют место области с отрицательным дифференциальным сопротивлением (ОДС), особенно четко проявляющиеся при $T=120 \text{ К}$ (при $V_p=0,2 \text{ В}$ и $V_v=0,3 \text{ В}$ соотношение токов в максимуме и минимуме ОДС $I_p/I_v=2,7$). При температуре 79 К наблюдаются 2 слабых пика, с соотношениями токов 1,72 и 2,43 при напряжениях смещения 0,15В и 0,256В, соответственно. Эти области с повышением температуры смещаются в область малых напряжений.

Определено энергетическое положение источников туннелирования при 79 К : $E_1 - E_f = 0,6 \text{ эВ}$, $E_2 - E_f = 0,564 \text{ эВ}$, из которых второй можно идентифицировать как уровень платины в запрещенной зоне кремния [9]. Анализ проведенных исследований выявил, что ВАХ при температуре 120 К хорошо описывается зависимостью

$$I = I_p \exp(\beta(V - V_p)^2) + \exp(qV / kT), \quad (3)$$

где $\beta = 22$.

Анализ вольт-фарадных характеристик выявил разрыв зависимости $C^{-2}(V)$ при напряжении смещения 0,94В и температуре 120К (диод №8) [8], что указывает на существование глубокого центра (ГЦ) в области пространственного заряда ниже уровня Ферми ($E_i - E_v = 0,26\text{эВ}$), перезаполняющегося при пересечении его. Аналогичная зависимость, полученная для диода №11 не выявила разрыва функции, хотя заметен некоторый перегиб. На основе полученных результатов вычислена концентрация заряда на ГЦ $N_{dzu} = 6,41 \times 10^{14} \text{ см}^{-3}$.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате отжига, проводимого при температуре 510°C, происходит диффузия платины в кремний. Образование силицида платины приводит к перестройке электронных состояний. Атомы и вакансии, диффундировавшие в полупроводник, могут играть роль доноров и акцепторов. Это, в свою очередь, может привести к изменению концентрации носителей и высоты барьера. В возникшей ситуации вероятность присутствия механизма туннелирования через область пространственного заряда увеличивается. В запрещенной зоне кремния существуют мелкие и один глубокий уровни.

1. Ш.С.Асланов, Физические и конструктивные особенности формирования металлических контактов кремниевых диодов Шоттки» Диссерт. На соиск. уч.степе. канд.ф.-м.-н., (1998) 138.
2. «Кристаллизация тонких пленок», Издательство «ФАН» Узбекской ССР, Ташкент, (1970).
3. В.И.Стриха, Теоретические основы работы контакта металл-полупроводник. Изд.Наукова Думка, Киев, (1974) 264.
4. Sh.Altindal, S.Karadeniz, N.Tugluoglu, A.Tataroglu, Solid-State Electron., 47 (2003) 1847.
5. Ş.Q.Əsgərov, İ.M.Əfəndiyeva, M.Ə.Qənbərzadə, M.H.Nəsənov, Fizika, V №2 (1999) 84.
6. I.M.Afandiyeva, *Second Intern. Conf. Technical and Physical Problem in Power Engineering, Iran*, 6-8 Sept., (2004) 452.
7. Э.Х.Родерик, *Контакты металл-полупроводник, Радио и связь*, (1982) 208.
8. И.М.Эфендиева, Л.К.Абдуллаева, Ш.С.Алтундал и др., Труды 5-ой Межд. Научно-Техн.Конф. Микроэлектронные преобразователи и приборы на их основе, МЭПП, 5-8декабря, (2005) 93.
9. А.Милнс, Примеси с глубокими уровнями в полупроводниках, Мир, (1977) 562.

(Al-TiW+PtSi)-nSi DIODLARINDA POTENSİALIN FLÜKTASIYASI

İ.M.ƏFƏNDİYEVA, L.K.ABDULLAYEVA, V.X.ŞƏRBƏTOV, Ş.ALTUNDAL

Məqalədə metal-yarımkeçirici kontakt əsasında diodarın tədqiqat nəticələri göstərilmişdir. Geniş gərgənlik və temperatur diapazonunda alınmış volt-ampere və volt-farad xarakteristikalarının analizi əlavə yük daşıyıcı mənbələrin və onların müşayət edən potensial fluktuasiyalarının mövcudluğunu aşkar etdi.

FLUCTUATIONS OF (Al-TiW+PtSi)-nSi DIODES POTENTIAL

I.M.AFANDIEVA, L.K.ABDULLAEVA, V.Kh.SHARBATOV, S.ALTUNDAL

Results of research of diodes on the basis metal-semiconductor contact have been shown. The analysis of I-V and C-V characteristics obtained in a wide range of values of a voltage and temperatures has revealed existence of additional sources of carriers of a charge and fluctuations of potential accompanying them.

Редактор: С.Мехтиева