

ФОРМИРОВАНИЕ ОМИЧЕСКОГО КОНТАКТА К АЛМАЗУ МЕТОДОМ ИОННОЙ ИМПЛАНТАЦИИ

Т.Т.Самойлюк, В.И.Хитко, А.С.Шуленков

Минский НИИ Радиоматериалов, РБ, 220024, г.Минск, ул.Кижеватова, 86,
e-mail: pb9231@belsonet.by

В данной работе исследовано влияние технологических параметров ионного легирования при формировании омических контактов к алмазу p-типа на величину удельного сопротивления контакта. Исследовалась структура контакта типа металл-p+(контактная область)-p(активная область). Определен пороговый уровень легирования контактной области, соответствующий концентрации $5 \times 10^{20} \text{ см}^{-3}$, обеспечивающий сопротивление контакта менее $10\text{-}5 \text{ ом} \cdot \text{см}^2$. Определено, что данный уровень концентраций соответствует модели полевой эмиссии. Исследовано влияние уровня концентрации и подвижности в активной области на величину сопротивления омического контакта. Определено, что при подвижности в активной области свыше $47 \text{ см}^2/(\text{Вс})$ применима модель термоэлектронной эмиссии, при этом сопротивление контакта при концентрации активной области свыше значения 10^{18} см^{-3} не зависит от последней. В соответствии с разработанным процессом достигнуты значения удельного контактного сопротивления на алмазе $2 \times 10^{-6} \text{ Ом} \cdot \text{см}^2$.

1. Введение

Одной из основных проблем, возникающих при создании полупроводниковых приборов на алмазе, является формирование омических контактов с низким сопротивлением и высокой температурной стабильностью. Улучшение омического контакта было достигнуто подлегированием приповерхностной области алмаза под контактом на малую глубину. Это достигается при легировании методом ионной имплантации [1]. Формирование омического контакта данным методом наиболее широко используется в полупроводниковой технологии на традиционных материалах (Si, Ge, GaAs и т.д.). Механизм образования омического контакта в данном случае изучен наиболее полно, основан на образовании тонкого барьера, прозрачного для туннелирования носителей заряда из металла в приповерхностный слой полупроводника с высокой концентрацией носителей заряда.

Целью данной работы является исследование влияния параметров структуры контакта металл-p⁺-алмаз-p-алмаз (концентрации, подвижности) на сопротивление контакта.

2. Методика

В ходе работы изучались зависимости удельного контактного сопротивления от уровня легирования активных и контактных областей. Тестовые структуры формировались на природных алмазах IIb-типа с помощью фотолитографии и ионного легирования. Исследования проводились на трех кристаллах с концентрациями активного азота (донорной примеси) #45- $3 \times 10^{18} \text{ см}^{-3}$, #40- $4.2 \times 10^{18} \text{ см}^{-3}$ и #49- $5.6 \times 10^{17} \text{ см}^{-3}$.

Топология тестовой структуры представляла собой ряд прямоугольных контактных областей p⁺-типа размером $200 \times 100 \text{ мкм}$, разделенных активными областями p-типа с различными зазорами (2, 4, 8 и 16 мкм). Расчет удельного контактного сопротивления проводился из измеренных значений сопротивлений тестовой структуры по модели длинной линии.

Легирование контактных областей проводилось методом полиэнергетической ионной имплантации (энергии 25, 36, 51, 75 и 96 кэВ) с целью создания равномерного по глубине уровня легирования. Для кристаллов #45 и #49 доза соответствовала концентрации внедренного бора 10^{21} см^{-3} , для кристалла #40 - 10^{20} см^{-3} .

Зависимость $\rho_{\text{уд}}$ от уровня легирования активного слоя изучалась на кристаллах, имплантированных бором с дозами 2, 4, 8, 20, 40, 80 мкКл/см² на энергии 96 кэВ каждый. Указанные дозы соответствуют концентрациям внедренного бора $10^{18} \div 4 \times 10^{19} \text{ см}^{-3}$. Легирование проводилось маскированием части тестовых структур кристалла после набора заданной дозы. Для активации примеси проводился отжиг в вакууме 10^{-4} Па при температуре 1550°C в течение 30 минут. Затем проводили удаление графитизированного слоя в хромовой смеси и формировали контакты Ti/Au термическим напылением и отжигом при 400°C в вакууме в течение 60 минут.

3. Результаты экспериментов

Полученные результаты представлены на рис.1. Из результатов видно, что начиная с концентрации $N_A > 4 \times 10^{18} \text{ см}^{-3}$ $\rho_{\text{уд}}$ практически не зависит от концентрации бора в активной области. На кристалле # 40 высокие значения $\rho_{\text{уд}}$ связаны со слабым легированием контактных областей.

При концентрации активных областей меньше 10^{19} см^{-3} проводимость при комнатной температуре крайне низкая, что не позволило получить линейную зависимость (наблюдается инжекция дырок из p⁺-областей через низколегированный участок p-области со степенной зависимостью тока от напряжения). Это связано с недостаточной компенсацией глубоких донорных уровней азота в данном кристалле. Аналогично и для кристалла #45 для концентраций активной области меньше $4 \times 10^{18} \text{ см}^{-3}$.



This document has been edited with Infix PDF Editor - free for non-commercial use.

To remove this notice, visit: www.iceni.com/unlock.htm

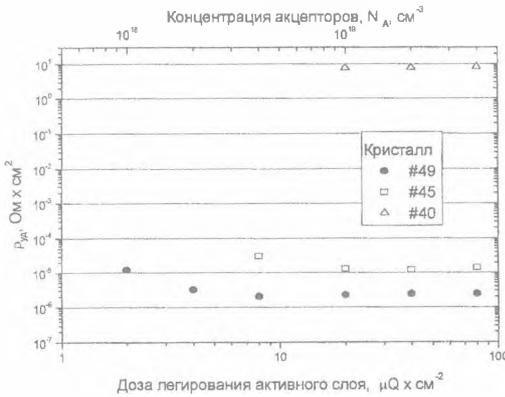


Рис. 1. Зависимость удельного контактного сопротивления от дозы легирования активного слоя.

4. Обсуждение результатов

Как уже отмечалось, омические контакты с низким сопротивлением получают путем увеличения уровня легирования вблизи границы раздела металл-полупроводник до такой степени, что обедненный слой, связанный с барьером Шоттки, становится очень тонким и ток через барьер возрастает за счет туннелирования (режим полевой эмиссии).

Контакт состоит из трех областей: 1 - область основного полупроводника р-типа (N_A); 2 - высоколегированная контактная область р⁺-типа (N_{AC}); 3 - барьер между металлом и р⁺-областью. Очевидно, что движение носителей заряда из металла в полупроводник определяется барьером между металлом и высоколегированным полупроводником р-типа (Φ_1) и барьером между высоко- и низколегированной областями полупроводника (Φ_2). Следовательно, контактное сопротивление ρ_c есть сумма ρ_{c1} , определяемого барьером Φ_1 , и ρ_{c2} , определяемого барьером Φ_2 .

Проведем оценку сопротивления ρ_{c1} . ρ_{c1} , зависящее от величины N_{AC} , может быть определено с помощью моделей как термополевой эмиссии (ТПЭ), так и полевой эмиссии (ПЭ) [2].

а) Термополевая модель (ТПЭ) (уравнение верно для $E_{00} \approx kT$):

$$\rho_{c1} = \frac{kE_{00} \coth\left(\frac{E_{00}}{kT}\right) \cosh\left(\frac{E_{00}}{kT}\right)}{A^* T (\pi E_{00} (\Phi_1 - U_F))^{1/2}} \exp\left(\frac{\Phi_1 + U_F}{E_0} - \frac{U_F}{kT}\right) \quad (1)$$

б) Модель полевой эмиссии (ПЭ):

$$\rho_{c1} = \frac{C_1 \pi E_{00} \sin(\pi C_1 kT)}{\pi A^* T} \exp\left(\frac{\Phi_1}{kT}\right) \quad (2)$$

(уравнение верно для $E_{00} \gg kT$), где

$$E_{00} = \frac{\hbar}{4\pi} \left(\frac{N_{AC}}{m\epsilon_s}\right)^{1/2} \quad (3)$$

здесь m - эффективная масса дырок, $\epsilon_s = \epsilon_0 \epsilon_{n/n}$, A^* - постоянная Ричардсона, U_F - разница энергий между уровнем Ферми (E_F) и максимумом

валентной зоны, k - постоянная Планка,

$$C_1 = \frac{1}{2E_{00}} \ln\left(\frac{4\Phi_1}{U_F}\right).$$

Оценим применимость Видно, что для концентраций N_A нима модель полевой эмиссии, модель термополевой эмиссии. значений $\Phi_1 = 1,9-2,2$ эВ (см $A^* = 1.2 \times 10^6$ А/(м²К²), $\epsilon_{n/n} = 5,7$. ρ_c ставлены на рис.2. Видно, что г лемые результаты можно только ции контактной области $N_{AC} > 5 \times 10^7$

Проведем оценку сопроти определяется на переходе $\rho(N_A)$ тивление такого перехода при ма может ограничиваться либо тер эмиссией через барьер, либо прс фузии и дрейфа в р-слое. Эта сг похожа на перенос электронов в талл-полупроводник, где два преде соответствуют термоэлектронной и ной моделям [4]. Проанализируем дельных случая.

В случае, когда доминирует тронная эмиссия, сопротивление пер определить как [4]:

$$\rho_{c2} = \frac{(2\pi mkT)^{1/2}}{e^2 n_0}.$$

При выполнении условия $L \gg \lambda$ р-р⁺-перехода, λ - длина свободной применима диффузионно-дрейфовая и

$$\rho_{c2} = \frac{L}{2en_0\mu}.$$

Размер контактной области м нить из соотношения:

$$L = \sqrt{\frac{2\epsilon_s \Phi_2}{eN_A}}.$$

В пределе очень тонкого обр эффективное время рассеивания опре временем пролета, т.е. ρ_{c2} определяется электронной эмиссией, дрейфовая скор рок определяется их временем пролета. случае столкновения внутри контакта не венны.

В противоположном пределе $L \gg \lambda$ ределяется диффузией и дрейфом. В эт чае подвижность дырок в контакте сво дрейфовой подвижности в слабом поле и ной вклад в ρ_{c2} вносят столкновения дыро ри перехода. Т.о. применимость той или , модели зависит от подвижности в р-области значениях

$$\mu > \frac{Le}{(8\pi kTm)^{1/2}}$$

применимо выражение (6), в ином случае (5) личина в правой части (8) при 300К, $N_A = 10^{16}$ составляет 47 см²/(Вс). В хороших кристал подвижность дырок достигает 2100 см²/(Вс имплантированных возможны значения порз 1 см²/(Вс) [5].

На рис.2 представлены значения $\rho_{уд} = \rho_{с1} + \rho_{с2}$ в зависимости от концентрации активного слоя N_A ($N_{Ac} = 10^{21} \text{ см}^{-3}$). Для концентраций $N_A > 10^{18} \text{ см}^{-3}$ сопротивление контакта определяется в основном сопротивлением перехода металл-контактный слой (ρ^+) и значение не зависит от концентрации N_A (при условии, что подвижность в активном слое $> 100 \text{ см}^2/(\text{Вс})$). Полученные данные хорошо согласуются со значениями полученными на кристалле #49.

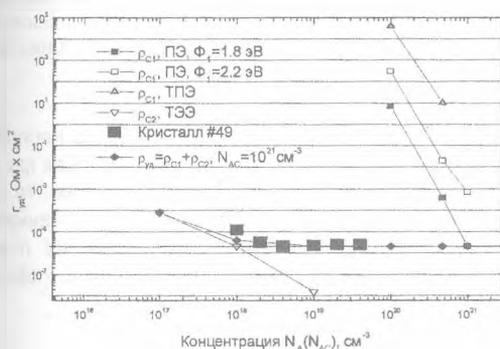


Рис. 2. Зависимость $\rho_{с1}$ от N_{Ac} , $\rho_{с2}$ от N_A и $\rho_{уд} = \rho_{с1} + \rho_{с2}$ от N_A при $N_{Ac} = 10^{21} \text{ см}^{-3}$ для различных моделей. Также показаны значения $\rho_{уд}$ для кристалла #49.

5. Заключение

Установлено, что приемлемые значения сопротивления контакта получаются при уровне легирования контактного слоя свыше $5 \times 10^{20} \text{ см}^{-3}$. Определено, что данный уровень концентраций соответствует модели полевой эмиссии.

Исследовано влияние уровня концентрации и подвижности в активной области на величину сопротивления омического контакта. Определено, что при подвижности в активной области свыше $47 \text{ см}^2/(\text{Вс})$ применима модель термоэлектронной эмиссии, при этом сопротивление контакта при концентрации активной области свыше значения 10^{18} см^{-3} не зависит от последней.

В соответствии с разработанным процессом достигнуты значения удельного контактного сопротивления на алмазе $2 \times 10^{-6} \text{ Ом*см}^2$.

Список литературы

1. Venkatesan V. et al. // IEEE El. Dev. Let., v.13, p.126.
2. Radovani A. et al. // Solid State Electron., v.9, p.695
3. F.J. Himpsel et al. // Solid State Comm., v.36, p.631.
4. Родерик Э.Х., Контакты металл-полупроводник // М., Радио и связь, 1982.
5. G.Braunstein et al. // J. Appl. Phys., v.54(4), p.2106.

FORMATION OF THE OHMIC CONTACT TO DIAMOND BY ION IMPLANTATION

T.T.Samoyljuk, V.I.Khitko, A.S.Shulenkov

Minsk Research Institute of Radiomaterials, 86, Kizhevatov str., BY-220024, Minsk, Belarus,
e-mail: pb9231@belsonet.by

The influence of technological parameters of ion doping for formation of ohmic contacts to diamond of a p-type to value of specific resistance of a contact was investigated.

The structure of a contact of a type metal - p + (contact area) -p (active area) was investigated.

The threshold level of doping of contact area appropriate to concentration $5 \times 10^{20} \text{ см}^{-3}$, ensuring resistance of a contact less than 10^{-5} Ом*см^2 is determined. It is determined, that the given level of concentration corresponds to model of field emission.

The influence of a level of concentration and mobility in active area on size of resistance of an ohmic contact is investigated. It is determined, that for mobility in active area more than $47 \text{ см}^2/(\text{Вс})$ the model thermionic emission is applied, in this case the resistance of a contact for concentration of active area over significance 10^{18} см^{-3} does not depend from last.

Pursuant to the developed process the significances of specific contact resistance on diamond $2 \times 10^{-6} \text{ Ом*см}^2$ are reached.

