



УДК: 533.537

Акбаржон АБДУВАЙТОВ,

ТГТУ, доцент кафедры «Общая физика»

E-mail: akbarjon.abduvayitov@gmail.com

Дилноза ТАШМУХАМЕДОВА,

ТГТУ, профессор кафедры «Технология производства электронных аппаратов»

E-mail: d.ftmet@gmail.com

Хуришд БОЛТАЕВ,

ТГТУ, доцент кафедры «Общая физика»

E-mail: khurshid.boltaev@gmail.com

Балтоходжа УМИРЗАКОВ,

ТГТУ, профессор кафедры «Общая физика»

E-mail: be.umirzakov@gmail.com

ПОЛУЧЕНИЕ УЛЬТРАТОНКИХ КОНТАКТОВ НА ПОВЕРХНОСТИ БИНАРНЫХ ПОЛУПРОВОДНИКОВ

Аннотация

Впервые с использованием метода низкоэнергетической ионной бомбардировки на поверхности CdS получены ультратонкие омические контакты. Изучены профили распределения атомов контактирующего металла (никеля) по глубине чистого CdS и CdS, бомбардированного ионами Ba^+ и Ar^+ . Показано, что ионная бомбардировка приводит к уменьшению приконтактного (переходного) слоя в два и более раза и составляет $\sim 100 - 120 \text{ \AA}$. При этом удельное сопротивление ρ этого слоя не превышало $2 - 2,5 \text{ мкОм}\cdot\text{см}$. Уменьшение толщины переходного слоя и ρ объясняется образованием при ионной бомбардировке на поверхности CdS тонкого ($30 - 40 \text{ \AA}$) металлического слоя.

Ключевые слова: омический контакт, ионная бомбардировка, удельное сопротивление, профиль распределения.

BINAR YARIM O'TKAZGICHLAR YUZASIDA ULTRA YUPQA KONTAKTLARNI OLISH

Annotatsiya

Birinchi marta kichik energiyali ionlarni bombardimon qilish usuli yordamida CdS yuzasida ultra yupqa omik kontaktlar olindi. Toza CdS va Ba^+ , Ar^+ ionlari bilan bombardimon qilingan CdS tarkibidagi metall (nikel) atomlarini chuqurlik bo'yicha taqsimoti o'rganildi. O'tish qatlamining (kontakt soxasi) qalinligi ion bombardimon qilinganda ikki va undan ko'p marta kamaygani, ya'ni $100 - 120 \text{ \AA}$ ni tashkil qilishi ko'rsatildi. Shu bilan birga, bu qatlamning qarshiligi (ρ) $2 - 2,5 \text{ мкОм}\cdot\text{см}$ dan oshmadi. O'tish qatlami qalinligi va ρ ning kamayishi ion bombardimonida CdS yuzasida yupqa ($30 - 40 \text{ \AA}$) metall qatlam hosil bo'lishi bilan izohlanadi.

Kalit so'zlar: omik kontakt, ion bombardimoni, solishtirma qarshilik, profil bo'yicha taqsimot.

OBTAINING ULTRATHIN CONTACTS ON THE SURFACE OF BINARY SEMICONDUCTORS

Abstract

For the first time, ultrathin ohmic contacts have been obtained on the surface of CdS using the method of low-energy ion bombardment. The distribution profiles of atoms of the contacting metal (nickel) over the depth of pure CdS and CdS bombarded with Ba^+ and Ar^+ ions have been studied. It is shown that ion bombardment leads to a decrease in the near-contact (transition) layer by a factor of two or more and is $\sim 100 - 120 \text{ \AA}$. At the same time, the resistivity ρ of this layer did not exceed $2 - 2.5 \text{ }\mu\Omega\cdot\text{cm}$. The decrease in the thickness of the transition layer and ρ is explained by the formation of a thin ($30 - 40 \text{ \AA}$) metal layer on the CdS surface during ion bombardment.

Keywords: ohmic contact, ion bombardment, resistivity, distribution profile.

Введение. Монокристаллические образцы и плёнки A^2B^6 , в особенности CdS и многослойные гетероструктуры на их основе широко используются в создании различных приборов микро-, нано- и оптоэлектроники, в том числе солнечной энергетики [1-4]. В настоящее время хорошо изучено влияние термообработки, лазерного отжига, СВЧ-обработок, ионной и электронной бомбардировки, на структуру, состав и оптические свойства образцов A^2B^6 , а также процессы взаимодиффузии атомов на границе раздела многослойных ПДП и МДП-систем, созданных на основе этих полупроводников [5-14]. В частности, в работах [11,12] имплантацией ионов Ba^+ в CdTe и CdS на их поверхности и вблизи неё получены нанокристаллы и слои типа $Cd_{1-x}Ba_xTe$ и $Cd_{1-x}Ba_xS$.

Основной проблемой при создании электронных приборов на основе нанопленочных ПДП и МДП структур является создание надежных ультратонких контактов. Основные требования к омическим контактам: удельное сопротивление ρ_k омического контакта должно быть $\leq 10^{-2} \text{ Ом}\cdot\text{см}$; малая толщина переходного слоя металл-кремний; морфологическое совершенство пленки и неизменность фазового состава на всей площади контакта; стабильность свойств контактов в процессе изготовления и эксплуатации.

Для получения сверхтонких контактов на наноразмерных структурах используется ряд методов фазового расслоения; метод низкоэнергетического ионного легирования; метод осаждения многослойных композиций. Независимо от метода создания контакта значение ρ_k зависит от уровня легирования полупроводника.

Каждый из этих методов обладая определенными преимуществами не лишены и недостатков. Кроме того, эти методы использованы в основном для нанопленок кремния. В работе [15] для получения надежных омических контактов на Si использован метод имплантации ионов Ba^+ с вариацией энергии E_0 в диапазоне от 5 до 0,5 кэВ. Во всех случаях доза ионов составляла $\sim 6 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-2}$. Для кристаллизации ионно-имплантированных слоев и получения силицидов бария проводился постимплантационный прогрев при $T \approx 100 - 1100 \text{ K}$. При этом ρ для $BaSi_2$ составляет $\sim 50-100 \text{ мОм} \cdot \text{см}$. Затем на поверхность силицида напыляли атомы контактирующего металла Ni. Глубина проникновения Ni в Si уменьшается 5-6 раз и составляла $\sim 100 \text{ \AA}$. Такие исследования в случае бинарных полупроводников не проводились.

В данной работе мы попытались получить тонкий омический контакт на поверхности CdS, методом ионной бомбардировки.

Методика проведения экспериментов. Объектами исследования являлись монокристаллические пленки CdS (111) n-типа с толщиной $\sim 1 \text{ мкм}$, выращенные на поверхности диэлектриков (силикатных стекол), методом термического испарения в вакууме $\sim 10^{-6} \text{ мм рт.ст.}$ [16]. Эти образцы установлены на универсальную сверхвысоковакуумную ($P = 10^{-9} \text{ мм рт.ст.}$) установку, где проводились все технологические операции (прогрев, напыление атомов Ni, ионная бомбардировка и исследования состава и структуры исследуемых образцов). Для получения сверхтонких контактов на поверхности пленок CdS использовался метод низкоэнергетической ионной бомбардировки. Исследования проводились с использованием методов оже-электронной спектроскопии (ОЭС), ультрафиолетовой фотоэлектронной спектроскопии (УФЭС). Профили распределения атомов по глубине определялись методом ОЭС в сочетании с послойным травлением поверхности ионами Ag^+ с $E_0 = 2 \text{ кэВ}$ под углом $5-10^\circ$ относительно поверхности образца.

Экспериментальные результаты и их обсуждение. Омический контакт характеризуется удельным сопротивлением, значение которого определяется через полное сопротивление R_t [17, 18].

$$R_t = \frac{\rho_n}{\pi d} \cdot f \cdot g^{-1} (4h/d) + 4\rho_c/\pi d^2 + R_0 \quad (1)$$

где, ρ_n – удельное сопротивление полупроводниковой пленки, h – толщина пленки, d – диаметр кругового контакта, f – частота генерации, g – активная межэлектронная проводимость, ρ_c – удельное сопротивление контакта, R_0 – сопротивление тыльного контакта.

В контактах металл-полупроводник с низким уровнем легирования $N_D \leq 10^{17} \text{ см}^{-3}$ преобладает термоэлектронная компонента, а высоким уровнем легирования $N_D \geq 10^{19} \text{ см}^{-3}$ – туннельная компонента тока. В первом случае значение ρ_c можно определять по формуле:

$$\rho_c = \frac{k}{qA^*T} \exp\left(\frac{q\phi_{\text{вп}}}{kT}\right) \quad (2)$$

где, k – постоянная Больцмана, q – заряд электрона, A^* – эффективная постоянная Ричардсона, $\phi_{\text{вп}}$ – высота барьера Шоттки.

Из формулы (2) следует, что в случае полупроводников с низким уровнем легирования для получения малых ρ_c нужно изготовить контакт с малой высотой барьера.

Во втором случае ρ_c определяется по формуле

$$\rho_c \approx \exp\left[\frac{2\sqrt{\varepsilon_s m^*}}{h} \cdot \left(-\frac{\phi_{\text{вп}}}{\sqrt{N_D}}\right)\right], \quad (3)$$

где, m^* – эффективная масса электрона, ε_s – диэлектрическая постоянная пленки, N_D – концентрация примесных уровней.

Анализ формул (2) и (3) показывает, что при $N_D < 10^{17} \text{ см}^{-3}$ ток обусловлен термоэмиссией и значение ρ_c почти не зависит от уровня легирования, а при $N_D > 10^{19} \text{ см}^{-3}$ ρ_c определяется, в основном, туннельными процессами и быстро уменьшается по мере повышения степени легирования.

Для получения омического контакта нами использовались два метода: в первом случае пленки CdS предварительно имплантировались ионами Ba^+ с дозой насыщения, а во втором случае бомбардировались ионами Ag^+ с дозой $D \approx 2 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-2}$. При имплантации ионов Ba^+ в CdS с $E_0 = 1 \text{ кэВ}$ высокой дозой ($D \approx D_n \approx 8 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-2}$) поверхностные слои с толщиной 40-50 Å обогащались атомами Cd+Me, т.е. происходила металлизация поверхности. После напыления на поверхность ионно-имплантированного образца Ni получили надежный омический контакт. Толщина поверхностного слоя (глубина проникновения Ni) не превышала 50-70 Å (рис. 1). Однако после прогрева ионно-имплантированного CdS до $T \approx 900 \text{ K}$ на поверхности образовалась монокристаллическая пленка $Cd_{0.6}Ba_{0.4}S$ (рис. 1). ρ_c этой системы была высокая и составляла $\geq 100 \text{ Ом} \cdot \text{см}$ и после напыления Ni образовался переходной слой с толщиной $\sim 400-500 \text{ \AA}$, т.е. этот метод не дал необходимого эффекта.

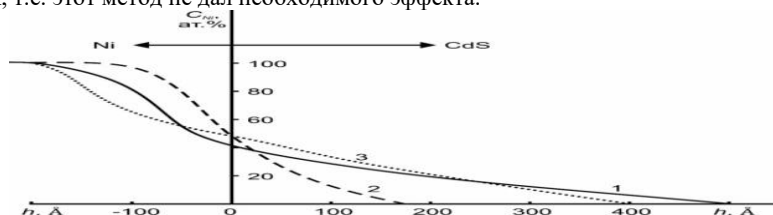


Рис. 1. Профили распределения Ni по глубине h : 1 – CdS (111); 2 – CdS, имплантированный ионами Ba^+ с $E_0 = 1 \text{ кэВ}$, 3 – после прогрева при $T = 800 \text{ K}$ ионно-имплантированного CdS в течении 30 мин. Толщина пленки Ni составляла $\sim 500 \text{ \AA}$.

Во втором случае мы использовали метод бомбардировки CdS ионами Ag^+ . Наиболее оптимальным был следующий режим: угол падения ионов Ag^+ на поверхность $\sim 40-45^\circ$, энергия ионов $E_0=3$ кэВ, доза ионов $D=2 \cdot 10^{17}$ см $^{-2}$. После бомбардировки поверхность с толщиной 40-50 Å покрывалась атомами Cd (80 – 90 ат.%). После прогрева при $T = 800$ К происходила полная кристаллизация разупорядоченных слоев CdS, а поверхностная концентрация Cd составляла $\sim 70 - 75$ ат.%, а S – 25-30 ат.% (рис. 2). Удельное сопротивление этих слоев было $\sim 10^{-3}$ Ом·см. Наличие большого количества Cd обеспечивало хорошую адгезию Ni и формированию хорошего омического контакта с малой толщиной переходного слоя (80-70 Å).

На рис. 3 приведены профили распределения атомов Ni по глубине «чистого» для CdS (кривая 1) и CdS, бомбардированного ионами Ag^+ с $E_0=3$ кэВ и прогретого при $T=800$ К в течение 40 мин. В обоих случаях толщина пленки Ni составляла ~ 1 мкм.

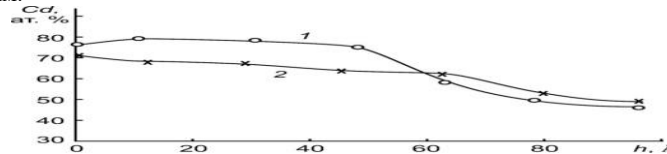


Рис. 2. Зависимость концентрации Cd от глубины для пленки CdS, бомбардированного ионами Ag^+ с $E_0=3$ кэВ при $D=2 \cdot 10^{17}$ см $^{-2}$ под углом к поверхности $\alpha=40-45^\circ$. 1 – после ионной бомбардировки; 2 – после прогрева при $T=800$ К в течение $t=40$ мин.

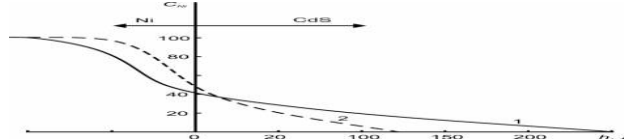


Рис. 3. Профили распределения атомов Ni по глубине 1 – чистой монокристаллической пленки CdS, 2 – пленки CdS, бомбардированной ионами Ag^+ с $E_0=3$ кэВ и отожжённого при $T=800$ К (2) в течение 40 мин

Видно, что в случае ионно-бомбардированного образца, хотя проводился прогрев, глубина проникновения атомов Ni не превышает 130-150 Å. В таблице 1 приведены значение ρ_k и максимальная глубина проникновения Ni для системы Ni-CdS и Ni-ионно-бомбардированный CdS до и после прогрева.

Таблица 1

Параметры	Ni-CdS	Ni – $\text{Ag}^+ \rightarrow \text{CdS}$, $E_0=3$ кэВ	
		$T=300$ К	$T=800$ К
ρ , мкОм·см	2,3	2,2	2,6
$h_{\text{ни}}$, Å	600	100	150

Значения ρ_k измерены при комнатной температуре. Видно, что значение ρ_k для всех указанных систем резко не отличается друг от друга. Однако глубина, проникновения Ni отличается в 4 – 5 раза.

Вывод. Таким образом, предварительная бомбардировка CdS ионами Ag^+ позволяет получить ультратонкие контакты на его поверхности.

ЛИТЕРАТУРА

- Г.С. Хрипунов, В.Р. Копач, А.В. Мериуц, Р.В. Кириченко, Н.В. Дейнеко, ФТП, 45 (1) С.1564 (2011).
- K.R. Murali, M. Matheline, R. John, Chalcogenide Lett, 6 (9) P.483 (2009).
- A.A. Vashchenko, V.S. Lebedev, A.G. Vitukhnovskii, R.B. Vasiliev, I.G. Samatov, JETP Lett, 96, 113 (2012).
- C. Dang, J. Lee, C. Breen, J.S. Steckel, S. Coe-Sullivan, A. Nurmi, Nature Nanotechnology, 7, 335 (2012).
- А.П. Беляев, В.П.Рубец, В.В.Антипов, ФТП. 39. 2. С.204-206. (2005).
- Ш.А.Мирсагатов, И.Б. Сапаев, ФТП. 48 (10) С.1398-1404. (2014).
- К.А.Свит, Д.Ю.Протасов, Л.Л.Свешникова, А.К.Шестаков, С.А.Тийс, К.С.Журавлев, ФТП, 48 (9) С.1237-1241 (2014).
- Р.А.Редько, С.И.Будзуляк, Д.В.Корбутяк, А.П.Лоцько, Н.Д.Вахняк, Л.А.Демчина, С.М.Калитчук, Р.В.Конасова, В.В.Миленин, Ю.В. Быков, С.В.Егоров, А.Г.Еремеева, ФТП, 49 (7) С.916-919 (2015)
- А.Г.Роках, М.И.Шишкин, В.С. Аткин, ФТП 52. (8) С.853-859 (2018).
- Д.М.Седракан, П.Г.Петросян, Л.Н. Григорян, ЖТФ, 85 (5) С.94-99 (2015).
- Б.Е.Умирзаков, Ж.Ш.Содикужанов, Д.А.Ташмухамедова, А.А.Абдувайитов, Э.А.Раббимов. Письмо в ЖТФ. 2021. Т.47. вып.12. с.3-5. Doi: [10.21883/PJTF.2021.12.51057.18632](https://doi.org/10.21883/PJTF.2021.12.51057.18632)
- Б.Е.Умирзаков, Д.А.Ташмухамедова, Э.А.Раббимов, Ж.Ш.Содикужанов, А.Н.Уроков, Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования, 12, С.76-80 (2019).
- A.A.Abduvayitov, Kh.Kh.Boltaev, G.A.Rozikov. Journal of Surface Investigation: X-ray, Synchrotron and Neutron Techniques, 2022, Vol. 16, No. 5, pp. 860–863. Doi: [10.1134/S102745102205024X](https://doi.org/10.1134/S102745102205024X)
- Д.А.Ташмухамедова, Б.Е.Умирзаков, М.А. Мирджалилова, Изв. АН. Сер. Физ. 2004. Т.68. № 3. С.424-426.
- Boltaev Kh.Kh., Tashmukhamedova D.A., Umirzakov B.E. Journal of Surface Investigation 2014, 8(2). pp.326-331
- Алиев А.А., Абдувайитов А.А., Рузибаева М.К. Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования. №5 с.102-105 (2009)
- Walden R.H.et.al. The buried Channel Coupled Device.// Bell. Sist.Tech.J., - 1972. - V.51. - P.180-183.
- Wittmer M. Silicide contacts for shallow junction devices. //Thin Solid Films. - 1983. - V.107. - P.99-110.