

ОМІЧНІ КОНТАКТИ ДО CdTe:V

На основі кристалів CdTe:V з концентрацією легуючої домішки $N_V=5 \cdot 10^{19} \text{ см}^{-3}$ виготовлено структури M-CdTe:V (M-Al, Ni, Ag, Cr, Sn, Ti) та досліджено їх фізичні властивості. Лінійність і симетричність ВАХ структур на основі Al, Ni, Ag, Sn, Ti свідчать про створення якісних омичних контактів, питомий опір яких для різних зразків знаходиться в межах $1,2 \cdot 10^{-2} \div 7,8 \cdot 10^{-3} \text{ Ом} \cdot \text{см}^2$.

Metal-semiconductor contacts have been fabricated on the basis of M-CdTe:V (M-Al, Ni, Ag, Cr, Sn, Ti) with doping concentration $N_V=5 \cdot 10^{19} \text{ cm}^{-3}$. The electrical properties of the formed structures have been studied. Being linear and symmetrical, the (I - V) characteristics of the structures obtained on the basis of Al, Ni, Ag Sn and Ti provide evidence of the good ohmic contacts being made. The specific contact resistivity is found to lie within $1,2 \cdot 10^{-2} \div 7,8 \cdot 10^{-3} \text{ } \Omega \cdot \text{cm}^2$ for different samples.

Телурид кадмію – прямозонний напівпровідник групи A^2B^6 ($\Delta E_g=1,45 \text{ eV}$), який знайшов застосування у багатьох галузях електронної техніки. На основі CdTe виготовляється низка напівпровідникових приладів, серед яких детектори ядерного випромінювання, світлодіоди, сонячні елементи та ін. Легування CdTe ванадієм відкриває ще одну можливість його застосування як фоторефрактивний матеріал для систем запису оптичної інформації і передачі її через волоконно-оптичні лінії зв'язку. Останнє стало можливим завдяки фоточутливості CdTe:V у технічно важливому спектральному діапазоні $1 \div 1,5 \text{ мкм}$. Електрооптичні коефіцієнти CdTe у 3 рази, а чутливість у 2 рази перевищують відповідні показники для GaAs та InP. Додатковою перевагою такого матеріалу в порівнянні з оксидними кристалами BaTiO₃ та LiNbO₃, фоторефрактивні властивості яких інтенсивно досліджуються останнім часом, є значно більший час відгуку за рахунок високої рухливості фотозбуджених носіїв [1]. Створення омичного контакту до зазначених пристроїв – запорака їх надійного функціонування і на сьогоднішній час залишається однією з найактуальніших проблем. Не менш важливо те, що при вимірюванні ефекту Холла і електричних властивостей на CdTe омичні контакти поганої якості до виготовлених зразків можуть призвести до значних помилок при визначенні власної концентрації, рухливості та питомого опору досліджуваного матеріалу.

Головна складність зумовлена тим, що реальна поверхня, оброблена звичайними механічними або хімічними методами, виявляється у тій чи іншій мірі пошкодженою до глибини декількох мікрон. Отже, передбачити поведінку утвореного контакту неможливо. Саме через наявність поверхневих станів, особливо у випадку CdTe, модель Шоттки не виправдовує себе на практиці [2]. Згідно з цією моделлю, властивості утворених бар'єрів, що мають місце на контактах метал-напівпровідник, визначаються різницею робіт виходу метала ϕ_m та напівпровідника ϕ_s . У випадку напівпровідника n -типу контакт випрямляючий, якщо $\phi_m > \phi_s$, і омичний, якщо $\phi_m < \phi_s$. Зворотнє твердження справедливе для напівпровідника p -типу.

Зазначимо також, що можливості створення якісного омичного контакту певним чином визначаються питомим опором та типом провідності матеріалу підкладки. У літературі [3], зокрема, наводяться дані щодо утворення омичного контакту до p -CdTe, тоді як про подібні результати для даного матеріалу з електронною провідністю все ще мало відомо.

Мета даної роботи – створення і дослідження електричних властивостей контактів метал-напівпровідник, тобто Al, Ni, Ag, Cr, Sn, Ti до CdTe:V з концентрацією ванадію $N_V=5 \cdot 10^{19} \text{ см}^{-3}$.

Монокристали CdTe:V, використані як вихідний матеріал, були вирощені методом Бріджмена з температурним градієнтом $25\text{-}30 \text{ град/см}$. Аналіз експериментальних досліджень електричних та гальвано-магнітних властивостей, проведених на

монокристаллах CdTe:V, показав, що важливу роль в оптичній якості та значенні питомого опору відіграє величина вільного об'єму над кристалом у процесі вирощування та швидкість його охолодження. Для кристалів CdTe:V з концентрацією ванадію $N_V=5 \cdot 10^{19} \text{ см}^{-3}$ при однакових умовах росту, але з різною величиною вільного об'єму над розплавом можна одержати як низькоомні, так і високоомні кристали. Для створення структур нами використовувалися низькоомні кристали CdTe з $N_V=5 \cdot 10^{19} \text{ см}^{-3}$ *n*-типу провідності, концентрація вільних носіїв в яких становила $n_e=2,4 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$, питомий опір $\rho \sim 0,08-0,34 \text{ Ом}\cdot\text{см}$, холівська рухливість $\mu \sim 250 \text{ см}^2/(\text{В}\cdot\text{с})$.

Для утворення контакту метали (Al, Ni, Ag, Cr, Sn, Ti) термічно осаджували на пластини CdTe:V з $N_V=5 \cdot 10^{19} \text{ см}^{-3}$. При цьому плоскопаралельні пластини вирізали струнною різкою з монокристалічних злиwkів CdTe:V, перпендикулярно до напрямку росту, механічно шліфували, полірували та хімічно травили в 5%-му розчині бром у метанолі. Після цього на одну з поверхонь кожної з підготовлених пластин методом термічного напилення у вакуумі $P=5 \cdot 10^{-6} \text{ мм.рт.ст.}$ наносили плівку металу (Al, Ni, Ag, Cr, Sn Ti) товщиною $\approx 0,15 \text{ мкм}$. Готові пластини товщиною $\sim 0,8 \text{ мм}$ розрізали на елементи розмірами $3 \times 4 \text{ мм}$. До одержаних зразків з двох боків припаювали індієві контакти площею 1 мм^2 . Режим пайки був підібраний так, щоб уникнути проплавлення металеві плівки. При оптимальній температурі пайки подібне пошкодження виключається, оскільки температури плавлення напилених металів набагато перевищують температуру плавлення індію. Отже, можна стверджувати, що дослідження характеристик та результати, наведені нижче, стосуються саме контактів М-CdTe (М-Al, Ni, Ag, Cr, Sn Ti).

Основні параметри, які характеризують якість омичного контакту такі [4]:

- диференціальний контактний питомий опір ρ_k , що визначається з нахилу вольт-амперної характеристики контакту при нульовому зміщенні як відношення падіння напруги на контакті до густини струму, що протікає:

$$\rho_k = \frac{dU}{dI} \cdot S,$$

де S – площа контакту;

- коефіцієнт випрямлення $k_{\text{випр}}$, який характеризує нелінійність ВАХ структур метал-напів-

провідник і визначається відношенням прямого струму до оберненого при однакових значеннях прикладеного зміщення. Величина даного коефіцієнта для ідеального не випрямляючого контакту дорівнює одиниці;

- коефіцієнт нелінійності $k_{\text{нелін}}$, який дорівнює відношенню статичного питомого опору до диференціального. В ідеальному не випрямляючому контакті з лінійною ВАХ коефіцієнт нелінійності дорівнює одиниці.

Одержані ВАХ структур М-CdTe:V (М-Al, Ni, Ag, Cr, Sn, Ti) з концентрацією легуючої домішки $N_V=5 \cdot 10^{19} \text{ см}^{-3}$ зображені на рис.1.

З наведених характеристик видно, що утворені контакти не випрямляючі. У випадку напилених Al, Ni, Ag, Sn або Ti, вони строго лінійні, симетричні відносно початку координат і не залежать від напрямку проходження струму. ВАХ контакту Cr-CdTe:V, $N_V=5 \cdot 10^{19} \text{ см}^{-3}$, показана на рис.2, також є свідченням утворення контакту без ефекту випрямлення з опором, що залежить від прикладеного зміщення.

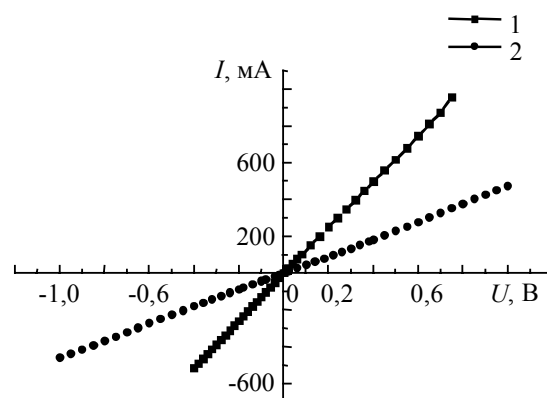


Рис.1. Типові ВАХ структур М-CdTe:V (М-Al, Ni, Sn (1), Ag, Ti (2)) з $N_V=5 \cdot 10^{19} \text{ см}^{-3}$ при $T=300 \text{ К}$.

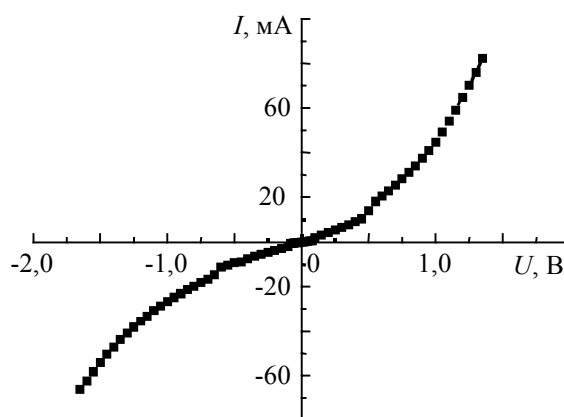


Рис.2. ВАХ структури Cr-CdTe:V, $N_V=5 \cdot 10^{19} \text{ см}^{-3}$ при $T=300 \text{ К}$.

Таблиця 1. Основні параметри структур М-CdTe:V (М-Al, Ni, Ag, Cr, Sn, Ti) з концентрацією легуючої домішки $N_V=5 \cdot 10^{19} \text{ см}^{-3}$.

Метал	$\rho_k, \text{ Ом} \cdot \text{см}^2$	$k_{\text{нелін}}$	$k_{\text{випр}}$
Al	$(7,5 \div 7,8) \cdot 10^{-3}$	1	1
Ni	$(1,8 \div 3,2) \cdot 10^{-2}$	1,4-1,6	1,1-1,2
Ag	$(1,7 \div 2,1) \cdot 10^{-2}$	1,3-3,9	1,04
Cr	$1,6 \cdot 10^{-1} \div 4 \cdot 10^{-2}$	1,9-6,9	1,3-2,5
Ti	$(1,5 \div 2,3) \cdot 10^{-2}$	1	1
Sn	$(1,35 \div 2,3) \cdot 10^{-2}$	1	1

У таблиці 1 подано основні параметри для виготовлених структур М-CdTe:V (М-Al, Ni, Ag, Cr, Sn Ti) з концентрацією легуючої домішки $N_V=5 \cdot 10^{19} \text{ см}^{-3}$. З наведених результатів випливає, що досить якісні омічні контакти з малим значенням питомого опору на CdTe:V, $N_V=5 \cdot 10^{19} \text{ см}^{-3}$ утворюють метали Al, Sn, Ti з припаяним In. З літературних джерел [5] відомо, що In, вплавлений до n-CdTe з електронною концентрацією 10^{16} см^{-3} , забезпечує контактний питомий опір $\sim 7 \cdot 10^{-3} \text{ Ом} \cdot \text{см}^2$. Причому подальше поліпшення цього значення досягалося шляхом відпалу в парах Cd або дифузії In у матеріал підкладки при певному температурному режимі. Відомо також, що на CdTe n-типу провідності з питомим опором 0,1 Ом·см нагрівання вплавленого In до 200°C протягом 1 години дає значення контактного питомого опору $1,4 \cdot 10^{-2} \text{ Ом} \cdot \text{см}^2$. У нашому випадку вдалося одержати контакти з досить малими значеннями контактного питомого опору без додаткової термічної обробки. Задовільні результати спостерігаються також для срібла та нікелю, роботи виходу яких приблизно рівні величині електронної спорідненості χ_s для CdTe (4,28-4,8 eV). Нелінійність ВАХ контакту Cr-CdTe:V, з концентрацією ванадію $N_V=5 \cdot 10^{19} \text{ см}^{-3}$ вказує на наявність бар'єра, висотою якого не можна знехтувати. Однак можливість застосування всіх перелічених вище контактів як омічних залежить від того, які вимоги ставляться до лінійності ВАХ для використання в тому чи іншому пристрої.

Зазначимо, що вимірювання характеристик контактів Al-CdTe:V із концентрацією легуючої домішки $N_V=5 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$ показали, що досліджувані зразки володіють чітко вираженими випрямляючими властивостями та свідчили про утворення структур типу діодів Шотткі [6].

Виявленням такої характерної поведінки контакти М-CdTe:V завдячують наявності ванадію, визначення ролі якого в кристалах телуриду кадмію потребує подальшого вивчення.

Роботу виконано при підтримці НТЦУ. Грант № 2004.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Гнатенко Ю.П. и др Глубокие примесные состояния и собственные дефекты в фоторефрактивных кристаллах $\text{Cd}_{1-x}\text{Fe}_x\text{Te}$ // ФТТ. - 1998. - **40**, №7. - С.1216-1220.
2. Милнс А., Фойхт Д. Гетеропереходы и переходы металл-полупроводник. - М.: Мир, 1975.
3. Musa A. et al Properties of electroless gold contacts on p-type cadmium telluride // J. Appl. Phys. - 1983. - **54**, No.6. - P. 3260-3268.
4. Пасынков В.В. Полупроводниковые приборы. - М.: Высш. шк., 1981. - С. 64-67.
5. Nozaki S., Milnes A.G. Specific contact resistivity of indium contacts to n-type CdTe // J. El. Mater. - 1985. - **14**, No.2. - P. 137-155.
6. Паранчич С.Ю., Танасюк Ю.В. Бар'єри Шотткі на основі структур Al-CdTe:V // Науковий вісник Ужгородського університету. - Вип. 10: Фізика. - Ужгород, 2001. - С.130-133.