

ВИРОЩУВАННЯ КРИСТАЛІВ $Cd_xHg_{1-x}Te:V$ ($x=0,9-0,95$) ТА ЇХ ФІЗИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ

Вирощені монокристали $Cd_xHg_{1-x}Te:V$ ($x=0,9-0,95$) з використанням двох варіантів методу Бріджмена, досліджена оптична однорідність, електричні і гальваномагнітні властивості одержаних кристалів. Питомий опір зразків знаходиться в межах 10^4-10^8 Ом·см. Із залежності $R(T)$ визначена енергія залягання рівня ванадію, яка становить 0,73-0,82 еВ.

The brought up monocrystals $Cd_xHg_{1-x}Te:V$ ($x=0,9-0,95$) with usage of two versions of a method of the Bridgeman are grown and optical homogeneity, electrical and galvano-magnetic properties of obtained chips are investigated. A specimen specific resistance is in borders 10^4-10^8 Ω ·cm. From dependence $R(T)$ the burial energy of vanadium level is obtained, which one makes 0,73-0,82 eV.

Вступ

Одержання і дослідження телуриду кадмію, легованого 3d-елементами в значній мірі визначається можливостями його практичного застосування в якості детекторів γ -випромінювання, оптичних фільтрів, електро- й акустооптичних модуляторів, фоторефрактивного матеріалу для ближньої ІЧ-області спектра та інших пристроїв.

Основний фоторефрактивний матеріал для ближньої ІЧ-області спектра, в якій працюють сучасні оптичні лінії зв'язку і випромінюють найбільш ефективні напівпровідникові лазери, – $CdTe:3d$. Одержанню та дослідженню $CdTe:3d$ присвячена велика кількість наукових праць, наприклад [1-3]. Незважаючи на це, проблема одержання матеріалів з високою чутливістю і стабільними характеристиками залишається нерозв'язаною. Крім цього, необхідно проводити пошук нових напівпровідникових матеріалів, які б володіли більшою рухливістю електронів і, відповідно, меншим часом фоторефрактивного відклику. Такими матеріалами можуть бути тверді розчини $Cd_xHg_{1-x}Te$ в області складів, близьких до $CdTe$. В літературі, в основному, описано вирощування твердих розчинів $Cd_xHg_{1-x}Te$ складів, близьких до $HgTe$ з $x=0,2-0,35$, що використовуються в якості фоточутливих матеріалів у спектральній області (3-5)мкм і (8-14)мкм [2,3]. Проблема вирощування кристалів $Cd_xHg_{1-x}Te$ з великим вмістом кадмію визначається порівняно високою температурою плавлення і відповідно високим тиском пари ртуті. Наприклад, з метою отримання напівізолюючих кристалів для γ -детекторів, авторами

праці [4] одержані кристали $Cd_xHg_{1-x}Te$ ($x=0,9$) і $Cd_xHg_{1-x}Te:Cl$ з розчину телуру. При цьому зразки володіли такими параметрами: $n \approx 9 \cdot 10^{12}$ см⁻³, $\rho = 1100$ Ом·см, $\mu = 600$ см²/(В·с), і тільки в останній, третій частині кристала ставали напівізолюючими. Тобто проблема технології отримання цих кристалів залишається відкритою.

Експериментальна частина

В якості вихідних матеріалів для вирощування твердих розчинів $Cd_xHg_{1-x}Te:V$ ($x=0,9-0,95$) використовували Cd , Hg , Te різного ступеня чистоти, які додатково очищали. Очистку промислового телуру ТВ-4, з концентрацією домішок 10^{20} см⁻³, проводили методом зонної перекристалізації у подвійних ампулах, заповнених воднем. Вміст електроактивних домішок по всій довжині злитка очищеного телуру контролювали за допомогою вимірювання ефективного значення коефіцієнта Холла. Їх концентрація знаходилась у межах від $(6-8) \cdot 10^{14}$ до $(1-2) \cdot 10^{15}$ см⁻³. Очистку кадмію ($Cd-0000$) здійснювали методом зонної плавки в графітових контейнерах в атмосфері водню. В якості вихідного компонента використовували ртуть промислової чистоти марки Р⁶. Компоненти відповідно розрахованому складу завантажували в графітізовані кварцові ампули подвійного плавлення з товщиною стінок не менше 2мм. При цьому послідовність завантаження запобігала взаємодії кадмію з ртуттю. Для зменшення теплових ефектів у процесі синтезу, розміри шматків телуру в завантаженій шихті не перевищували 10-15 мм³.

Процес синтезу $Cd_xHg_{1-x}Te$ проводили за допомогою програмного задавача. В області температур 723-773 К і 1115-1160 К, тобто в області інтенсивного протікання реакції синтезу, швидкість збільшення температури не перевищувала 1 К/хв. При досягненні температури плавлення для поліпшення реакції компонент розплав піддавався вібрації з частотою 50 с⁻¹. Після витримки при температурі плавлення протягом 12-15 годин синтезований матеріал охолоджувався. Кристалізацію проводили вертикальним методом Бріджмена в тих самих ампулах. Використовували два варіанти вирощування за методом Бріджмена. В першому випадку ампулу з синтезованим матеріалом ставили в електропеч, температуру якої підвищували протягом 20-24 годин до 1330-1380К. При цьому у верхній, незаповненій частині ампули температуру підтримували на 15-20 град вище від температури основного матеріалу. Для гомогенізації розплаву матеріал витримували при температурі розплаву протягом 6-8 годин, після чого ампулу опускали зі швидкістю 3,2 мм/год через градієнт температур 15 К/см. Після кристалізації злиток охолоджували зі швидкістю 40-50 К/год до температури 700-800 К, а потім у режимі вимкненого живлення електропечі. В другому випадку, ампулу із синтезованим матеріалом вставляли в другу кварцову ампулу більшого діаметру. Простір між ампулами заповнювали порошком SiC, теплопровідність якого становить 13 Вт/(м·К) (рис.1).

Дослідження, проведені на макетних зразках (в якості кристала використовували нержавіючу сталь) показали, що градієнт температури у радіальному і осьовому напрямках складав приблизно 1 і 4 град/см відповідно, при діаметрі кристала 16-18 мм. Градієнт температур на фронті кристалізації складав $\approx 2-3$ град/см. Швидкість росту кристалів знаходилась у межах 0,5-0,8 мм/год. Охолодження закристалізованого злитка здійснювали за допомогою програмного пристрою і не перевищувала 40 К/год.

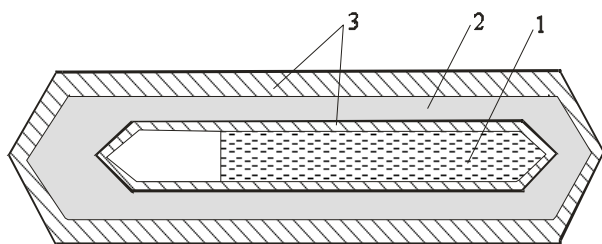


Рис.1. Схема контейнера для вирощування $Cd_xHg_{1-x}Te$: 1 - матеріал $Cd_xHg_{1-x}Te$; 2 - порошок SiC; 3 - кварцові контейнери.

Вирощені таким методом кристали розрізали на шайби перпендикулярно осі росту, механічно шліфували, полірували і піддавали хімічній обробці в 5%-му розчині броду в метиловому спирті. Питомий опір зразків, вирізаних з різних частин кристала, знаходився в межах $10^4 \div 10^8$ Ом·см. При освітленні зразків вольфрамовою лампою розжарювання питомий опір змінювався на 2-3 порядки. Однорідність зразків досліджували методом оптичного пропускання за допомогою монохроматора МДР-23 і ИКС-21.

Результати і їх обговорення

На рис.2 наведені криві спектрального розподілу пропускання зразків, вирізаних з різних ділянок кристала $Cd_xHg_{1-x}Te:V$ ($x=0,9$) з концентрацією ванадію $N_V=1 \cdot 10^{19}$ см⁻³ (нумерація кривих відповідає початку кристалізації). Видно, що величина пропускання складає 40-60% і форма кривих дещо розмита, що свідчить про деяку неоднорідність кристала, отриманого при наступних технологічних режимах: градієнт температур на фронті кристалізації 15 К/см, швидкість росту кристала 3,2 мм/год. Криві спектрального розподілу пропускання зразків $Cd_xHg_{1-x}Te:V$ ($x=0,9$) з $N_V=1 \cdot 10^{19}$ см⁻³, вирізаних з кристалу, отриманого при мінімальному температурному градієнті, наведені на рис.3. Видно, що в цьому випадку однорідність кристала краща, величина пропускання досягає 65%, при цьому її значення не змінюється до $\lambda=25$ мкм.

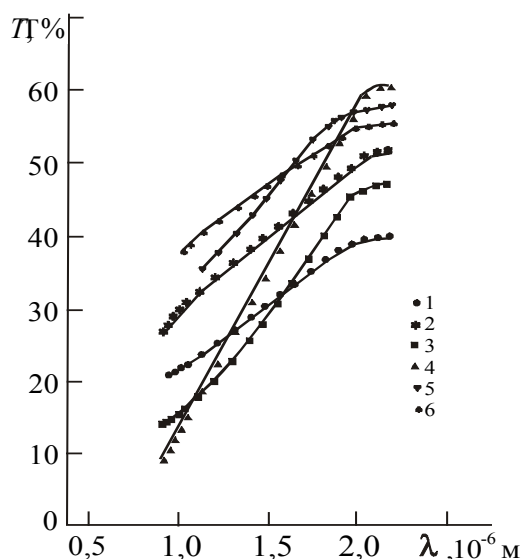


Рис.2. Спектральний розподіл кривих пропускання зразків $Cd_xHg_{1-x}Te:V$ ($x=0,9$), отриманих методом Бріджмена при температурному градієнті 15 К/см і швидкості 3,2 мм/год. (нумерація кривих відповідає початку кристалізації).

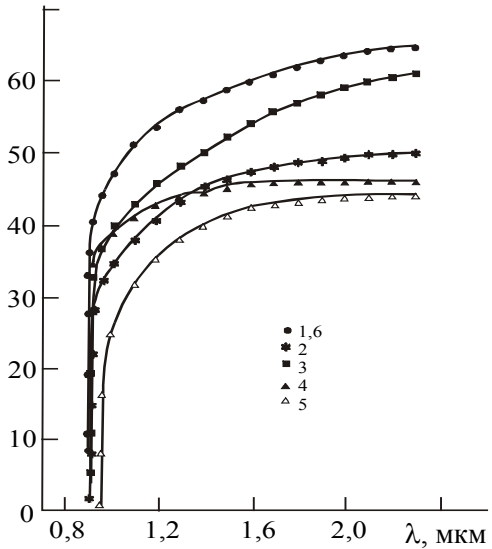


Рис.3. Спектральний розподіл кривих пропускання зразків $Cd_xHg_{1-x}Te:V(x=0,9)$, отриманих методом Бріджмена при мінімальному температурному градієнті (нумерація кривих відповідає початку кристалізації).

На рис.4 приведені температурні залежності коефіцієнту Холла для зразків різного складу і концентрації ванадію і різної концентрації легуючої домішки. З температурної залежності коефіцієнту Холла $R(T)$ визначена енергія залягання рівня ванадію в $Cd_xHg_{1-x}Te$ ($x=0,9$), яка складає 0,73-0,82 еВ. Холівська рухливість зразків слабо змінюється в досліджуваному інтервалі температур, досягаючи значень $(3,6-4) \cdot 10^2 \text{ см}^2/(\text{В} \cdot \text{с})$.

Аналіз експериментальних результатів показує, що:

1. Легування кристалів $Cd_xHg_{1-x}Te$ ($x=0,9-0,95$) ванадієм дозволяє отримувати напівізолюючі кристали з питомим опором $10^4-10^8 \text{ Ом} \cdot \text{см}$.
2. Енергія залягання рівня ванадію складає 0,73-0,82 еВ.
3. Кристали $Cd_xHg_{1-x}Te$ ($x \geq 0,9$) з більшою однорідністю отримуються при мінімальному градієнті температур як у радіальному, так і аксіальному напрямках.

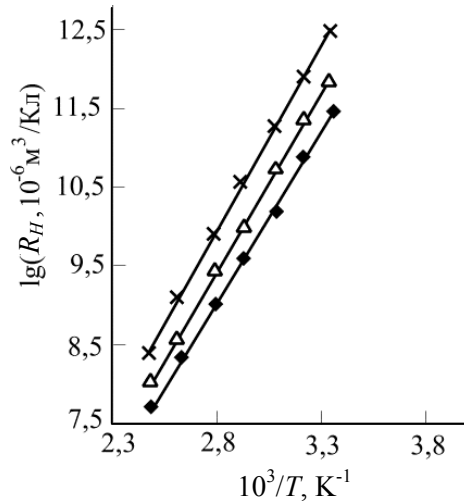


Рис.4. Температурна залежність коефіцієнту Холла для зразків різного складу і концентрації ванадію: \blacklozenge - $Cd_xHg_{1-x}Te:V$ ($x=0,95$) $N_V=1 \cdot 10^{19} \text{ см}^{-3}$; \blacktriangle - $Cd_xHg_{1-x}Te:V$ ($x=0,95$) $N_V=1 \cdot 10^{19} \text{ см}^{-3}$; \times - $Cd_xHg_{1-x}Te:V$ ($x=0,9$) $N_V=1 \cdot 10^{19} \text{ см}^{-3}$.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. *Strauss J.G.* The Physical properties of cadmium telluride // *J.Rev.Phys.Appl.* - 1977. - **12**, No.2. - P.167-198.
2. *Pautrat J.L., Francou J.M., Magnea N., Molva E., Saminadayar K.* Donors and acceptors in tellurium compounds: the problem of doping and self-compensation // *J. of Crystal Growth.* - 1985. - **72**. - P.194-204.
3. *Lay K.Y., Giles-Taylor N.C., Schetzina J.F., Bachmann K.J.* Growth and Characterization of $CdSe_yTe_{1-y}$ Crystals // *J. Electrochem. Soc.* - 1986. - **133**, No.5. - P.1049-1051.
4. *Triboubet R.* CdTe and CdTe:Hg alloys crystal growth using stoichiometric and off-stoichiometric zone passing techniques // *Revue de physique Appliquée.* - 1977. - **12**. - P.123-128.