

Формування полірованої поверхні монокристалів $\text{Cd}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Te}$ травниками на основі розчинів $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 - \text{HBr}$ (HCl)

М.В.Чайка

Інститут фізики напівпровідників ім. В.Є. Лашкарьова НАН України, пр. Науки, 41, Київ, 03028, Україна, e-mail: laridae92@gmail.com

Для формування полірованої поверхні напівпровідників типу $\text{A}^{\text{IV}}\text{B}^{\text{VI}}$ традиційно використовують метод хімічного травлення, який, на перший погляд, є простим для практичної реалізації хімічним процесом. Проте отримання полірованої, структурно досконалої та бездефектної поверхні монокристалів із збереженням необхідних параметрів є досить складною технологічною задачею. Для її розв'язання застосовують різні методи травлення, зокрема хіміко-динамічне полірування (ХДП). При цьому важливо підібрати оптимальні склади травників, які володіють гарними поліруючими властивостями та необхідними швидкостями зняття поверхневого шару матеріалу.

Для досліджень використовували вирощені методом Бріджмена монокристали $\text{Cd}_{0,2}\text{Hg}_{0,8}\text{Te}$. Швидкість розчинення визначали за зменшенням товщини кристалу до і після травлення за допомогою годинникового індикатора 1-МИГП з точністю $\pm 0,5$ мкм. Мікроструктуру поверхні зразків після ХДП досліджували в білому світлі за допомогою металографічного мікроскопу МИМ-7 з цифровою відеокамерою eTREK DCM800 (8Mpix).

Попередня обробка монокристалів $\text{Cd}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Te}$ перед фінішним ХДП за розробленою нами методикою складається з наступних етапів:

Різка кристалів. Досліджувані зразки, площею $0,5 \text{ см}^2$ та товщиною 1,5-2 мм, було вирізано з монокристалічних злитків струнною різкою з алмазним напиленням, при цьому струна постійно змочувалась дистильованою водою. Різка супроводжується інтенсивним механічним впливом на поверхню та завдає їй порушень і певного ступеня шорсткості.

Шліфування поверхні. Порушений шар, що утворився під час різки, частково видаляли механічним шліфуванням із застосуванням абразивних порошків марок М10, М5 та М1 у вигляді водних суспензій.

Механічне полірування. Для видалення приповерхневих структурно-дефектних шарів, що утворюються при різці та шліфуванні, проводили механічне полірування зразків. Товщина порушеного шару механічно полірованих поверхонь близька до товщини порушеного шару травлених поверхонь, а його структура подібна до структури порушеного шару при шліфуванні. Для полірування застосовували алмазні пасти марок АСМ 7/5, після чого АСМ 3/2 та АСМ1/0 із поступовим зменшенням розміру зерна абразиву.

Міжопераційна очистка. Міжопераційну очистку проводили для видалення з поверхні забруднень після кожного етапу механічної обробки: різки, шліфування та механічного полірування. Залишки абразивних порошків, частинки матеріалу та інші забруднення видаляли за такою технологічною схемою:

промивка (H_2O дист. + ПАР) \rightarrow промивка (H_2O дист.) \rightarrow знежирювання (ацетон, $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$) \rightarrow висушування (поток сухого повітря).

Хімічне травлення для видалення порушеного шару. Перед проведенням ХДП з поверхні зразків, попередньо прошліфованих і механічно відполірованих, видаляли порушений шар товщиною 80-100 мкм травником складу (10-15) мас. % I_2 в CH_3OH .

Фінішне полірування та промивка. Для отримання полірованої поверхні $\text{Cd}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Te}$ із необхідною мікроструктурою та шорсткістю проводили фінішне ХДП розробленими травниками на основі розчинів $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 - \text{HBr}$ (HCl) у відтворюваних гідродинамічних умовах із використанням методики диску, що обертається ($T = 295 \text{ K}$ та швидкість обертання диску $\gamma = 82 \text{ хв}^{-1}$). Одночасно травили 4 зразки, а процес ХДП проводили протягом 5 хв, тому похибка при визначенні швидкості травлення становила 0,1-0,3 мкм/хв. Перед

травленням всі розчини витримували протягом двох годин для встановлення рівноваги хімічної реакції :



Оптимізовані склади поліруючих і селективних травників та умови проведення фінішного ХДП $\text{Cd}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Te}$ представлено у таблиці:

Склади поліруючих і селективних травників та режими ХДП $\text{Cd}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Te}$ ($T=295\text{ K}$, $\gamma=82\text{ хв}^{-1}$).

№ п/п	Склад травників (об.%)	$V_{\text{пол}}$, мкм/хв	Стан поверхні після ХДП	Умови промивки
1	20 $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ +80 HBr	3,5	Блиск	30 с 0,1 М $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ +1 хв H_2O +2 хв H_2O +1 хв H_2O (при $T=295\text{ K}$)
2	30 $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ +70 HBr	4,7	Дзеркальний блиск	
3	50 $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ +50 HBr	7	Блиск	
4	20 $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ +20 HBr+60 $\text{C}_4\text{H}_6\text{O}_6$	0,6	Блиск	
5	20 $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ +40 HBr+40 $\text{C}_4\text{H}_6\text{O}_6$	2,5	Дзеркальний блиск	
6	20 $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ +40 HBr+40 $\text{C}_3\text{H}_6\text{O}_3$	2,3	Блиск	
7	20 $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ +20 HBr +60 CH_3COOH	1,5	Дзеркальний блиск	
8	35 $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ +50 HBr+15 ЕГ	3,5	Дзеркальний блиск	
9	20 $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ +65 HBr+15 ЕГ	2,6	Блиск	
10	20 $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ +50 HBr+30 ЕГ	1,9	Блиск	
11	20 $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ +20 HBr+60 $\text{C}_2\text{H}_2\text{O}_4$	2,6	Блиск, ямки травлення	
12	20 $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ +80 HCl	2,5	Дзеркальний блиск	30 с 0,1 М $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ +10 хв H_2O ($T=278\text{ K}$)+2 хв H_2O +1 хв H_2O
13	30 $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ +70 HCl	4	Блиск	1 хв 0,5 М NaOH ($T=305\text{ K}$)+2 хв H_2O +1 хв H_2O +1 хв H_2O
14	40 $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ +60 HCl	2,7	Блиск	30 с 0,1 М $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ +1 хв H_2O +1 хв 5 об. %NaOH в CH_3OH +2 хв H_2O +1 хв H_2O ($T=295\text{ K}$)
15	50 $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ +50 HCl	5	Блиск	30 с 0,1 М $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ +1 хв H_2O +2 хв H_2O +1 хв H_2O ($T=295\text{ K}$)

Склади вихідних розчинів (мас.%): $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ – 10,9 % водний розчин; HBr – 40%; HCl – 35,5%; органічні кислоти: тартратна ($\text{C}_4\text{H}_6\text{O}_6$) – 27%; лактатна ($\text{C}_3\text{H}_6\text{O}_3$) – 80%; ацетатна (CH_3COOH) – 100% (льодяна); оксалатна ($\text{C}_2\text{H}_2\text{O}_4$) – 9% та ЕГ – етиленгліколь ($\text{C}_2\text{H}_6\text{O}_2$).

Витримка поліруючих розчинів навіть протягом досить тривалого часу після приготування (до 180 год.) не впливає на їх полірувальні властивості. Після фінішного ХДП поліровані пластини можна зберігати у ізопропанолі упродовж декількох тижнів. Результати металографічного та профілометричного аналізів поверхні зразків після травлення показали перспективність розроблених травильних композицій для ХДП монокристалів $\text{Cd}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Te}$ (шорсткість полірованої поверхні становить $R_z \leq 0,05\text{ мкм}$). Оптимізовані склади травників характеризуються низькими швидкостями травлення (0,6-7 мкм/хв) і можуть бути використані для контрольованого зменшення товщини пластин напівпровідників до заданих розмірів, хімічної обробки тонких плівок та фінішного полірування поверхні. Їх застосування дозволяє уникати використання токсичного Br_2 , регулювати швидкість травлення шляхом введення різної кількості органічних кислот і в'язких розчинників та спрощує процес приготування травильних розчинів при кімнатній температурі.