

Як виявилось, магнітні характеристики, які безпосередньо залежать від катіонного розподілу (намагніченість насичення, температура Кюрі), чутливі до впливу γ -квантів та електронів. Це, мабуть, зумовлено утворенням стабільних дефектів «точкового типу» (вакансія і міжвузловинний атом). Імовірність виникнення зміщених атомів в результаті безпосередньої пружної взаємодії з γ -квантами дуже мала. Основну роль у виникненні дефектів відіграє дія на кристал вторинних електронів [5]. Можна припустити, що кількості зміщених іонів у випадку опромінювання γ -квантами та електронами мало відрізняються, тому результати схожі. Катіонний перерозподіл іонів в результаті співударянь з первинними та вторинними електронами у випадку феритів М, W, Y може привести до зміни сумарного магнітного моменту та обмінної взаємодії, яка є функцією відстаней типу (Me—O—Me') і кутів типу (Me—O—Me'). Сильна залежність обмінної взаємодії від міжатомної відстані і катіонного розподілу спостерігається у випадку Zn_2YBa . Так, при заміщенні 50 мол. % іонів Ba іонами Sr ($r_{\text{Ba}}^{2+} = 1,43 \text{ \AA}$, $r_{\text{Sr}}^{2+} = 1,27 \text{ \AA}$), яке приводить до зміни міжатомних відстаней та до іншого розподілу Zn^{2+} , виникає неколінеарна структура для Zn_2YBaSr [6]. У випадку опроміненних моно- і полікристалів Zn_2YBa при дозі 10^{16} частинка/см² ($E = 2 \text{ Мев}$) і при всіх дозах з $E = 10 \text{ Мев}$ на відміну від інших складів на кривих залежності J від H спостерігалася лінійна ділянка в інтервалі полів $10\text{--}40 \text{ ке}$ з кутом нахилу $\Delta J/\Delta H \approx 2 \cdot 10^{-3}$ (рис. 3, крива 2); лінійна ділянка у великих полях ($10\text{--}40 \text{ ке}$) з певним кутом нахилу свідчить про відсутність намагніченості насичення. Тобто опромінювання у даному випадку привело до зміни обмінної енергії та появи неколінеарної структури.

Сталі ґратки всіх досліджуваних феритів в результаті опромінювання не змінилися (похибка вимірювання a становить 0,003 Å, $c = 0,02 \text{ Å}$).

ЛІТЕРАТУРА

1. С. С. Диндун, Э. А. Райтман, Изв. АН ЛатвССР, сер. физ.-тех. н., № 2, 25, 1971.
2. В. А. Щелкотунов, В. Н. Данилов, В. Е. Семенов, Изв. АН СССР, Неорг. матер., 9, 667, 1973.
3. W. E. Nelson, E. L. Salkovitz, J. Appl. Phys., 30, 45, 286, 1959.
4. Н. Н. Сирота, А. П. Гесь, ДАН БССР, 11, 774, 1967.
5. С. Т. Конобеевский, Действие облучения на материалы, М., Атомиздат, 1967.
6. В. А. Сизов, Р. А. Сизов, И. И. Ямзин, ЖЭТФ, 53, № 4, 1256, 1967.

Харківський держуніверситет
ім. О. М. Горького

Надійшло до редакції
25.III 1974 р.

УДК 621.315.592:[537+542.61]

ЕЛЕКТРОФІЗИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ CdTe, ОЧИЩЕНОГО МЕТОДОМ РІДИННОЇ ЕКСТРАКЦІЇ

Є. С. Никонюк, А. В. Савицький, В. І. Гриців,
Р. М. Феш, О. Е. Панчук

У роботі [1] показана можливість очищення монокристалів CdS, ZnSe та ZnTe від домішок міді і срібла екстракцією в розплаві одного з компонентів сполуки. Домішки Cu і Ag відносно часто входять до складу CdTe [2] і, будучи акцепторами, істотно впливають на його електричні властивості. У даній роботі проведено дослідження впливу екстракції домішок Cu і Ag з монокристалів телуриду кадмію в насиче-

ному розчині $\text{Cd} + \text{CdTe}$ при 700°C на їхній вміст і електрофізичні властивості екстрагованого матеріалу.

Зразки для досліджень виготовлялись з монокристалів, вирощених методом Бріджмена. Вимірювання концентрацій домішок Cu і Ag та їх розподілу після екстракції провадилося для зразків ($2 \times 5 \times 5 \text{ мм}$), попередньо насичених міддю або сріблом, міченими радіоактивними ізотопами (Cu^{64} , $\text{Ag}^{110\text{M}}$), шляхом дифузійного відпалу під тиском пари

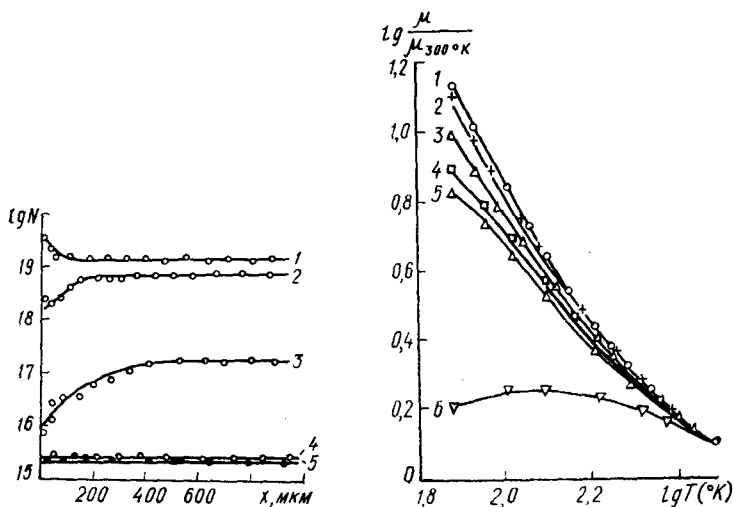


Рис. 1. Розподіл срібла в зразках CdTe : 1 — до екстракції, 2—5 — після екстракції протягом 4 хв, 10 хв, 30 год і 70 год, відповідно.

Рис. 2. Температурна залежність відносної рухливості електронів ($\mu_{300^\circ\text{K}}$ — холлівська рухливість при $T=300^\circ\text{K}$) в зразках CdTe : 1, 6 — неекстрагованих, одержаних методом вертикального і горизонтального зонних плавлень, відповідно; і екстрагованих при 2 — 650°C , 200 год; 3 — 650°C , 60 год; 4 — 700°C , 40 год; 5 — 600°C , 40 год.

кадмію, близьким до максимального, протягом 10 год при температурі 700°C . Оскільки коефіцієнт дифузії міді при 700°C дорівнює $2,3 \times 10^{-7} \text{ см}^2/\text{сек}$, то такі умови насичення забезпечували рівномірний розподіл і максимальну концентрацію домішки в зразках (атомів Cu — $7,2 \cdot 10^{19}$ і атомів Ag — $1,4 \cdot 10^{19} \text{ см}^{-3}$). Дослідження впливу екстракції домішок на електрофізичні властивості CdTe провадилися на зразках, як нелегованих, так і легованих міддю в кількості $\sim 10^{18} \text{ атом/см}^3$ ($p \approx 10^{12} \div 10^{16} \text{ см}^{-3}$, $\mu_p \approx 35\text{—}60 \text{ см}^2/\text{в} \cdot \text{сек}$ при 300°K), які вирізувалися з центральної частини екстрагованих дисків (діаметр — 10—15 мм, товщина $\sim 2 \text{ мм}$). Екстракція дисків здійснювалася при $600\text{—}700^\circ\text{C}$ при

$\frac{V_e}{V_s} \gtrsim 20$ (V_e , V_s — об'єми розплаву і кристала, відповідно) протягом 40 год і більше. Час екстракції вибирали, виходячи з рівняння $t^2 \approx \frac{x^2}{D}$, де x — півтовщина кристала, D — коефіцієнт дифузії домішки при даній температурі.

Дослідження впливу тривалості екстракційного відпалу на вміст домішки срібла в зразках свідчать, що при 700°C рівновага кристал — розплав досягається за час, менший ніж 30 год, для зразків завтовшки 2 мм (рис. 1). Залишкове значення концентрації домішки залежить від умов експерименту (температура, кількість екстрагенту тощо). Аналогічні результати одержано і для зразків, насичених міддю. Відмітимо,

що при 700°С і часі екстракції 20 год концентрація міді в кристалі CdTe може бути зменшена в 10^4 разів, якщо $\frac{V_e}{V_s} \gtrsim 20$. За даними

досліджень залежності ступеня очищення матеріалу від величини $\frac{V_e}{V_s}$ визначено рівноважний коефіцієнт розподілу міді в CdTe, величина якого дорівнювала $2,0 \cdot 10^{-3}$.

Після екстракції провідність всіх досліджуваних зразків була електронною, величина коефіцієнта Холла R_H була порядку 10^3 — 10^4 см³/к при 300°К і слабо залежала від температури в інтервалі 77—300°К. Відмітимо, що, незважаючи на те, що умови екстракції завжди були сприятливими для досягнення однорідного залишкового розподілу екстрагованої домішки в зразках, однорідність їхніх електричних властивостей не завжди була задовільною і поліпшувалась із збільшенням температури і часу проведення процесу. Причиною цього можуть бути інші процеси, які відбуваються поряд з екстракцією головної домішки Cu або Ag (екстрагування неконтрольованих домішок, хімічна дифузія та ін.).

Дослідження температурної залежності рухливості електронів в інтервалі 300—77°К показують, що підвищення температури процесу екстракції при однакових витримках (рис. 2, криві 4, 5), а також збільшення тривалості екстрагування при сталій температурі (криві 2, 3) приводять до зменшення концентрації іонізованих центрів розсіювання. Причому концентрація їх в екстрагованому матеріалі менша, ніж в матеріалі *n*-типу, одержаному методом горизонтального зонного плавлення (крива 6). Оцінка сумарної концентрації цих центрів N_J (однорядних) за формулою Брукса — Херінга [3] в наближенні $\frac{1}{\mu_e} =$

$$= \frac{1}{\mu_{оп}} + \frac{1}{\mu_J} \quad (\mu_e \text{ — експериментальна рухливість, } \mu_{оп}, \mu_J \text{ — рухливості, зумовлені розсіюванням на оптичних фонах і на іонізованих домішках, відповідно)}$$

дає величину, що не перевищує $2 \cdot 10^{16}$ см⁻³. Враховуючи, що в матеріалі, одержаному методом вертикального зонного плавлення (крива 1), величина N_J не перевищує 10^{15} см⁻³ [4], можна зробити висновок, що в екстрагованих зразках $N_J = 1 \cdot 10^{15}$ — $2 \cdot 10^{16}$ см⁻³. Оскільки концентрація атомів міді в цих зразках при $V_e/V_s \gtrsim 20$ не може значно перевищувати величину 10^{14} см⁻³ (для вихідних зразків вона була порядку 10^{18} см⁻³), то істотно більша величина N_J , можливо, зумовлена неконтрольованими домішками, які слабо екстрагуються, і власними термічними дефектами ґратки CdTe.

Наведені результати, на нашу думку, переконливо свідчать про ефективність очищення телуриду кадмію методом екстракції, в першу чергу від домішок першої групи, що швидко дифундують.

Автори вдячні В. В. Матлаку за критичні зауваження.

ЛІТЕРАТУРА

1. M. Aven, H. H. Woodbury, Appl. Phys. Lett., 1, 53, 1962.
2. M. Yokazawa, J. Teramoto, Nat. Techn. Rept., 8, 428, 1962.
3. Ф. Дж. Блатт, Теория подвижности электронов в твердых телах, М.—Л., Физматгиз, 1963.
4. В. В. Матлак, І. Ю. Неміш, Є. С. Никонюк, Зб. «Матеріали конференції з проблем природничих наук», Чернівці, 1970, стор. 121.

Чернівецький держуніверситет

Надійшло до редакції
25.III 1974 р.

УКРАЇНСЬКИЙ ФІЗИЧНИЙ ЖУРНАЛ

Том XIX

вип. 11

ОКРЕМИЙ ВІДБИТОК