

С.І. Будзуляк, О.П. Лоцько, Н.Д. Вахняк, С.М. Калитчук, Д.В. Корбутяк
**Трансформація екситонно-домішкових комплексів в
монокристаллах CdTe: Cl під впливом гамма-опромінення та
термічного відпалу**

*Інститут фізики напівпровідників ім. В. Є. Лашкарьова НАН України
03028, пр. Науки, 41, м. Київ*

Методом низькотемпературної фотолюмінесценції досліджено вплив гамма-опромінення та термічного відпалу на трансформацію екситонно-домішкових комплексів в монокристаллах телуриду кадмію легovanого хлором. Немонотонні залежності інтегральної інтенсивності фотолюмінесценції (ФЛ) від дози опромінення вказують на радіаційно-стимульоване упорядкування кристалічної структури (ефект малих доз). На основі вимірів температурних залежностей спектрів ФЛ встановлено граничну температуру відпалу ($T \approx 170^\circ\text{C}$) після якої відбуваються суттєві зміни в домішково-дефектній структурі монокристалів CdTe:Cl.

Ключові слова: монокристал телуриду кадмію, екситонно-домішкові комплекси, фотолюмінесценція, гамма-опромінення, термічний відпал.

Стаття постуила до редакції 03.09.2011; прийнята до друку 15.03.2012.

Вступ

В останні роки, завдяки успіхам в технології вирощування компенсованих монокристалів телуриду кадмію, значно зросла зацікавленість до їх вивчення та розробки на основі цих матеріалів високочутливих неохолоджуваних детекторів ядерного випромінювання [1-4]. Перспективність використання CdTe в дозиметрії та спектроскопії X- та γ -випромінювання обумовлена великими атомними номерами, які входять до сполуки ($Z_{\text{Cd}}=48$, $Z_{\text{Te}}=52$), великою шириною забороненої зони ($E_g \approx 1,5$ eV при 300 K) та достатньо великою рухливістю носіїв заряду ($m_e \sim 10^3$ см²/В·с, $m_h \sim 10^2$ см²/В·с) при кімнатній температурі. Крім зазначених параметрів важливою вимогою до детекторного матеріалу є високоомність, яка досягається в основному шляхом легування елементами III (In, Al) або VII (Cl, Br) груп. Серед цих легуючих домішок традиційно велика увага приділяється хлору, який використовується для отримання високоомних кристалів CdTe. Хоча всі зазначені вище елементи є мілкими донорами в CdTe, їх дія компенсується власними дефектами або складними домішково-дефектними комплексами. Ймовірність цього процесу зростає з ростом ширини забороненої зони E_g . Якщо E_g більша від енергії W утворення власного дефекту, то компенсація є повною. Особливістю CdTe є те, що в ньому $W \geq E_g$. Тому механізм компенсації, характерний для сполук

з великим значенням E_g , у випадку, наприклад, CdTe:Cl не повинен забезпечувати повної компенсації. В той же час експериментальні дослідження показують, що CdTe:Cl є високоомним матеріалом ($\rho \sim 10^8 \div 10^{10}$ Ом·см), а це означає, що механізм компенсації в ньому досить складний. Одна з можливих моделей самокомпенсації, яка найбільш поширена та обговорюється в літературі, полягає в тому, що мілкі донори Cl_{Te} компенсуються акцепторними комплексами ($V_{\text{Cd}}\text{-Cl}_{\text{Te}}$), так званими А-центрами. Таким чином, можна вважати, що співвідношення концентрацій домішкових центрів Cl_{Te} і комплексів ($V_{\text{Cd}}\text{-Cl}_{\text{Te}}$) і визначають його питомий опір і детекторні властивості цього матеріалу.

Слід зауважити, що з'ясування природи локальних центрів, встановлення механізмів трансформації домішково-дефектних комплексів під дією зовнішніх чинників, тестування матеріалу з точки зору його придатності для виготовлення радіаційних детекторів, вивчення домішок, власних дефектів та їх комплексів в CdTe і в даний час є актуальними задачами.

Одним з найбільш інформативних методів, які використовуються для вирішення вказаних задач, вважається метод низькотемпературної фотолюмінесценції (ФЛ). Цим методом визначають, якість твердотільних матеріалів та пристроїв на їх основі. Вимірювання характеристик люмінесценції дозволяє зокрема контролювати ступінь стехіометрії і чистоти

матеріалів, наявність випромінювальних центрів, визначати механічні напруження, тощо.

У даній роботі методом низькотемпературної ФЛ досліджена трансформація екситонно-домішкових комплексів в монокристалах CdTe:Cl під впливом гамма-опромінення та термічного відпалу.

I. Методика експерименту

Монокристали CdTe:Cl були вирощені методом Бріджмена. Легування хлором здійснювали під час вирощування монокристалів. З цією метою ампули з карбонованого кварцу діаметром 15 мм заповнювали синтезованим телуридом кадмію (попередньо очищеним методом вертикальної зонної плавки) і наперед визначеною кількістю солі CdCl₂. Перед початком вирощування ампула з розплавом витримувалась в діапазоні плато температур трубчатой печі ($T = 1390$ K) протягом 4 год. і потім опускалась вниз через температурний градієнт 10 - 12 K/см з швидкістю 4,8 мм/год. На кінцевій стадії процесу вирощування ампула охолоджувалась, опускаючись через температурний градієнт 50 K/см. Концентрація введеної легуючої домішки хлору у вирощених кристалах складала $N_{Cl} = 5 \cdot 10^{17}$ см⁻³ і $N_{Cl} = 5 \cdot 10^{19}$ см⁻³.

Термічний відпал зразків здійснювали при температурах від 100 С до 200 С в кварцевих ампулах, відкачаних до ($10^{-3} \div 10^{-6}$) мм Нг. Опромінення γ -квантами здійснювали радіоактивним джерелом ⁶⁰Со на установці МРХ- γ -25М (середня енергія γ -кванта $E_\gamma = 1,25$ МеВ). Потужність дози випромінювання джерела складала 95,28 Р/с. Задана доза опромінення досягалась підбором відповідного часу експозиції. Після кожного сеансу опромінення вимірювались спектри ФЛ. Потім зразки піддавались додатковому опроміненню, щоб досягти наступної заданої дози.

II. Особливості екситонного спектру ФЛ нелегованого та легованого хлором CdTe

На рис. 1 представлені типові спектри ФЛ нелегованого та легованого хлором CdTe. У якісних зразках CdTe спостерігається випромінювання вільних екситонів з енергією максимуму $E_{FE} \cong 1,596$ еВ, однак ця лінія дуже слабо виражена (інтенсивність нуль-фононної смуги менша інтенсивності першого LO-фононного повторення) внаслідок сильного самопоглинання. Крім того, при достатньо високих концентраціях донорів лінія вільного екситона маскується смугою випромінювання екситонів, локалізованих на донорах.

Енергія максимуму лінії ФЛ екситонів, зв'язаних на нейтральних донорах (D^0, X), складає $E_{(D^0, X)} \cong 1,593$ еВ. Донорами в нелегованому CdTe

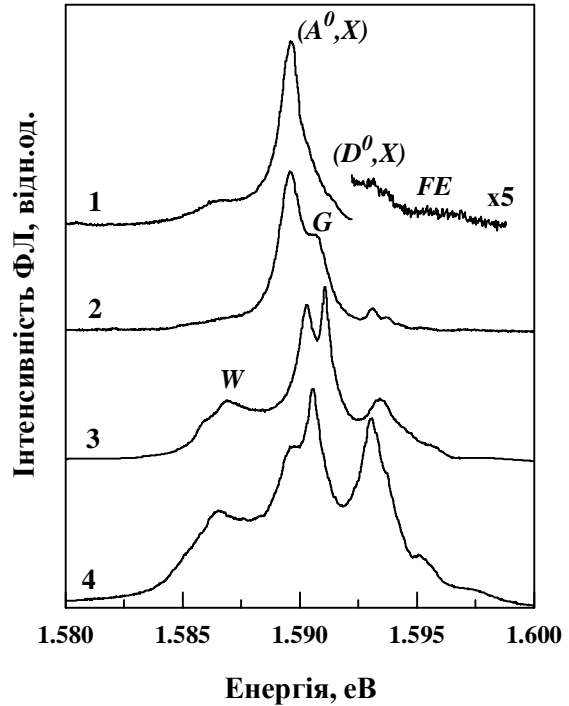


Рис. 1. Спектри екситонної ФЛ виміряні при $T=5$ К, нелегованого (1) і легованого хлором CdTe: $N_{Cl} = 5 \cdot 10^{17}$ см⁻³ (2), $N_{Cl} = 5 \cdot 10^{18}$ см⁻³ (3) $N_{Cl} = 5 \cdot 10^{19}$ см⁻³ (4).

можуть бути неконтрольовані домішки III або VII групи, які заміщують, відповідно, атоми Cd або Te чи, можливо, власні дефекти. Крім лінії (D^0, X) також можуть спостерігатись лінії ФЛ, пов'язані із збудженими станами донорів. Нелегований телурид кадмію, вирощений різними методами, характеризується р-типом провідності і найбільш інтенсивною лінією в спектрі екситонної люмінесценції є лінія екситонів, зв'язаних на нейтральних акцепторах (A^0, X) з енергією максимуму $E_{(A^0, X)} \cong 1,589-1,590$ еВ. Природа цієї

смуги досліджувалась в багатьох роботах, однак до цього часу існують розбіжності в ідентифікації лінії (A^0, X) різними авторами. В ряді робіт лінію 1,5896 еВ пов'язують з екситонами, локалізованими на акцепторах, створених залишковою домішкою міді (Cu_{Cd}) з енергією іонізації 146 меВ [5]. Дослідження впливу відпалу на спектр ФЛ CdTe показали, що відпал при $T \sim 600 \div 900$ °С в атмосфері кадмію зумовлює значне зменшення інтенсивності лінії (A^0, X) на фоні зростання інтенсивності лінії (D^0, X). Оскільки такий відпал не приводить до очищення кристалу (у нашому випадку – до вилучення домішки Cu), а з іншого боку, відомо, що він сприяє зменшенню концентрації вакансій кадмію (V_{Cd}), був зроблений висновок, що за появу лінії (A^0, X) відповідають вакансії Cd [6]. Однак, це не пояснює зумовлене відпалом зростання інтенсивності лінії (D^0, X). В більш пізніх роботах було висловлене припущення, що лінія (A^0, X) зумовлена екситонами, зв'язаними на домішково-дефектних комплексах V_{Cd} – донор ($V_{Cd}-D$) [7] або ($V_{Cd}-2D$) [8].

При легуванні CdTe домішкою хлору, атоми Cl, які заміщають атоми телуру (Cl_{Te}) і є мілкими донорами з енергією іонізації 14 меВ, приймають участь у створенні комплексів з V_{Cd} у вигляді ($V_{Cd}-Cl_{Te}$) і ($V_{Cd}-2Cl_{Te}$) [9]. Детальні дослідження спектрів ФЛ кристалів CdTe, легованих різною концентрацією Cl були проведені, наприклад, в роботах [10-12]. Як видно з рис. 1, домішка хлору зумовлює появу двох нових ліній в спектрі ФЛ, позначених в роботі [10] як G ($E_{max} \approx 1,590-1,591$ еВ) і W ($E_{max} \approx 1,586-1,587$ еВ). Лінія (A^0, X) також може проявлятися в спектрах ФЛ зразків з невисокою концентрацією хлору. Інтенсивність цих ліній, а також лінії (D^0, X) (де донором є Cl_{Te}) зростає із збільшенням N_{Cl} . При цьому також зростає питомий опір зразка, що свідчить про самокомпенсацію донорів і акцепторів [13].

В роботі [12] лінії ФЛ G і W були ідентифіковані як випромінювання екситонів, зв'язаних, відповідно, на комплексах ($V_{Cd}-2Cl_{Te}$) і ($V_{Cd}-Cl_{Te}$). Подібні спектри спостерігаються і для високоомного CdTe, легованого іншими компенсуючими донорними домішками, наприклад In, Al [14]. Автори [11] стверджують, що лінія G проявляється тільки у високоомних зразках і вона може бути використана для попереднього визначення придатності використання даного матеріалу для виготовлення радіаційних детекторів.

III. Вплив гамма-опромінення монокристалів CdTe:Cl на спектри ФЛ екситонно-домішкових комплексів

Про складні зміни, які відбуваються в домішково-дефектній системі CdTe:Cl під дією γ -опромінення свідчать отримані спектри низькотемпературної ФЛ CdTe:Cl. На рис. 2 представлені виміряні при $T = 5$ К спектри ФЛ

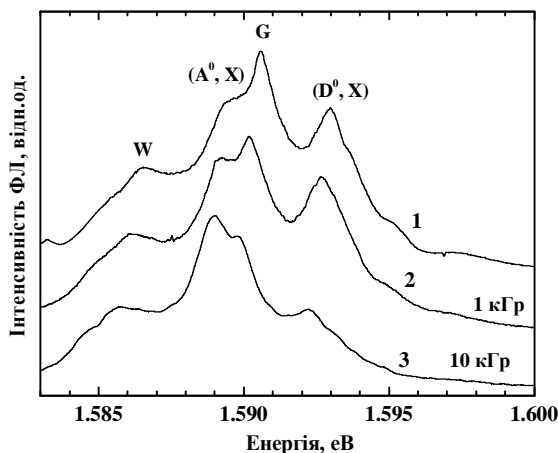


Рис. 2. Спектри екситонної ФЛ при $T = 5$ К вихідного (1) та гамма-опроміненого (2, 3) CdTe:Cl.

CdTe:Cl до і після опромінення γ -квантами дозами 1 кГр і 10 кГр. Екситонний спектр ФЛ досліджуваного зразка складається з ліній екситонів, локалізованих на донорах ((D^0, X) , 1,593 еВ) і акцепторах ((A^0, X) 1,589 еВ, G (1,590 еВ), W (1,586 еВ)). Вплив γ -опромінення зводиться до відносного щодо (A^0, X) зменшення інтенсивності всіх екситонних ліній, які зобов'язані своєю появою наявністю центрів Cl_{Te} : (D^0, X), G , W . Після опромінення CdTe:Cl дозою 10 кГр лінія (A^0, X) стає домінуючою в спектрі ФЛ.

На рис. 3 приведена залежність інтегральної інтенсивності екситонних ліній ФЛ від дози опромінення легованого хлором CdTe ($N_{Cl} = 5 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$ і $N_{Cl} = 5 \cdot 10^{19} \text{ см}^{-3}$).

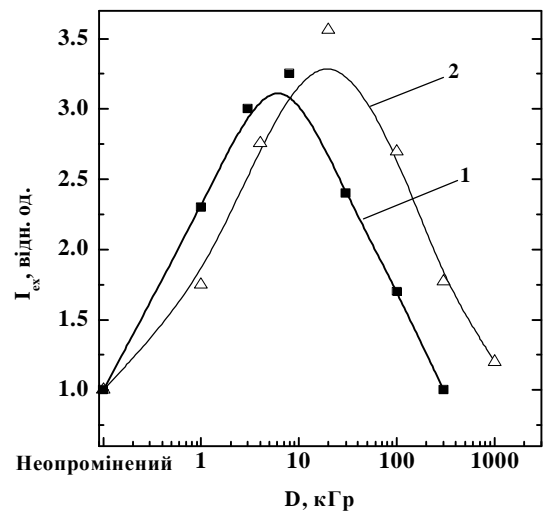


Рис. 3. Залежність інтегральної інтенсивності екситонної ФЛ монокристалів CdTe:Cl від дози γ -опромінення: 1 - $N_{Cl} = 5 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$, 2 - $N_{Cl} = 5 \cdot 10^{19} \text{ см}^{-3}$.

Цікаво, що при малих дозах γ -опромінення інтенсивність екситонної ФЛ зростає, досягаючи максимуму при $D = 8$ кГр для CdTe:Cl з $N_{Cl} = 5 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$ і $D = 20$ кГр для CdTe:Cl з $N_{Cl} = 5 \cdot 10^{19} \text{ см}^{-3}$. При подальшому збільшенні дози інтегральна інтенсивність спадає.

Як зазначалось вище, інтегральна інтенсивність екситонних ліній ФЛ немонотонно залежить від дози опромінення. Відомо, що біля крайове випромінювання дуже чутливе до безвипромінювальних втрат нерівноважних носіїв заряду, яке відбувається через глибокі центри рекомбінації. Зростання інтенсивності ФЛ при малих дозах γ -опромінення свідчить про зменшення таких втрат. Це явище названо в літературі *ефектом малих доз* або радіаційно-стимульованим упорядкуванням кристалічної структури напівпровідників. Суть його полягає у релаксації термодинамічно нерівноважних, метастабільних фаз під дією малих доз проникаючої радіації. Ефект малих доз досить добре вивчений у Si, Ge та напівпровідникових сполуках A_3B_5 . Встановлено, зокрема, що радіаційно-стимульовані процеси посилюються в приповерхневій області напівпровідника та в гетеро структурах [15, 16]. Для вивчення цього явища ефективним виявився метод

низькотемпературної ФЛ, як один із найбільш чутливих до структурної досконалості матеріалу [17, 18]. В CdTe також спостерігалось радіаційно-стимульоване упорядкування кристалічної структури приповерхневих шарів [19]. Виявлене нами зростання інтенсивності білякрайової (~ в 4 рази) ФЛ під дією γ -опромінення вказує на прояв ефекту малих доз. При цьому було відмічено, що максимальне зростання ФЛ в сильно легovanому ($N_{Cl} = 5 \cdot 10^{19} \text{ см}^{-3}$) зразку досягалось при більших дозах, порівняно з слабо легovanим ($N_{Cl} = 5 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$) CdTe. Природно припустити, що в чистих кристалах з незначною кількістю структурних порушень, ефект малих доз не проявлятиметься зовсім, а чим більш недосконалий кристал, з великою кількістю власних дефектів та неконтрольованих домішок, тим при більших дозах буде досягнуто максимальне покращення кристалічної структури. Додатковим підтвердженням прояву ефекту малих доз є збільшення часу життя нерівноважних носіїв заряду, яке відбувається одночасно із збільшенням інтенсивності екситонної ФЛ. Так, в зразках CdTe:Cl час життя нерівноважних електронів t_e зріс від ~0,3 мкс (для неопроміненого зразка) до ~1,0 мкс (для γ -опроміненого дозою $D = 10 \text{ кГр}$).

В розглянутому нами випадку, зростання інтенсивності біля крайової ФЛ під дією γ -опромінення означає, що при цьому послаблюється канал безвипромінювальної рекомбінації через глибокі рівні, зумовлені механічними напруженнями та рекомбінаційними центрами, привнесеними фоновими домішками. Малі дози γ -радіації приводять до релаксації механічних напружень і до радіаційно-стимульованого гетерування точкових дефектів, домішок до поверхні кристалу або до меж поділу матриці кристалу з включеннями іншої фази та до меж поділу "двійників", якщо структура досліджуваного зразка не є моноблочною.

IV. Вплив термічного відпалу монокристалів CdTe:Cl на спектр ФЛ екситонно-домішкових комплексів

З метою встановлення впливу температурних обробок на домішково-дефектну структуру монокристалів CdTe:Cl був проведений відпал зразків в діапазоні температур від 100 до 200 °C та виміряні спектри низькотемпературної ФЛ. На рис. 4 приведені спектри ФЛ CdTe:Cl з $N_{Cl} = 5 \cdot 10^{19} \text{ см}^{-3}$ до і після відпалу у вакуумі при різних температурах. Час відпалу складав 20 хв. Відпал при $T_A \leq 170 \text{ °C}$ практично не впливав на спектри ФЛ, тоді як при вищих температурах відбувались суттєві зміни у формі спектра ФЛ та інтенсивності окремих ліній. Перш за все, слід звернути увагу на різке падіння інтенсивності ФЛ ліній (D^0, X) та G , причому процес їх гасіння починається при певній "пороговій" температурі відпалу $T_A = 180 \text{ °C}$. Природно

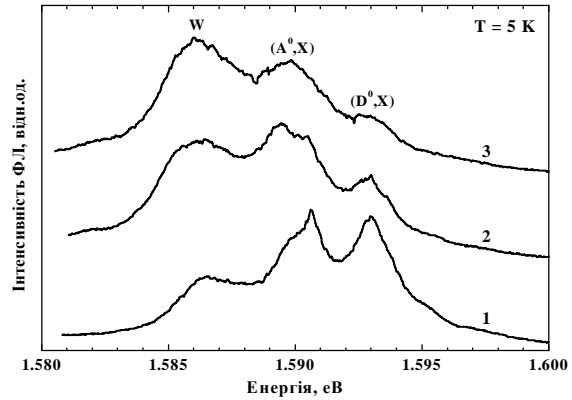


Рис. 4. Спектри ФЛ CdTe:Cl ($N_{Cl} = 5 \cdot 10^{19} \text{ см}^{-3}$) до (1) і після відпалу у вакуумі протягом 20 хв. при 180°C (2) і 200°C (3). Спектри нормовані до лінії (A^0, X).

припустити, що гасіння вказаної лінії викликане зменшенням концентрації центрів Cl_{Te} внаслідок "випаровування" атомів хлору з приповерхневої області кристалу в атмосферу, що підтверджується відновленням вихідної форми спектру ФЛ після стравлювання тонкого приповерхневого шару (~1 - 2 мкм) відпалених зразків CdTe:Cl.

Другим цікавим результатом впливу відпалу на ФЛ екситонно-домішкових комплексів є зростання інтенсивності лінії W (екситонів локалізованих на A -центрах), яке відбувається одночасно з гасінням ліній (D^0, X). Якщо зростання інтенсивності лінії W є результатом збільшення концентрації A -центрів, на яких локалізуються екситони, то звідси випливає, що поряд з випаровуванням хлору в процесі відпалу відбувається генерація додаткових вакансій кадмію (за рахунок випаровування атомів Cd з приповерхневої області кристалу), з наступним утворенням комплексів з Cl_{Te} . Можливість такого процесу забезпечується високою концентрацією домішок хлору. Дане припущення підтверджується експериментами з відпалом зразків CdTe:Cl з меншою концентрацією хлору. Для зразка з $N_{Cl} = 5 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$ падіння інтенсивності ліній (D^0, X) та G супроводжується меншим зростанням лінії W , ніж для зразка з $N_{Cl} = 5 \cdot 10^{19} \text{ см}^{-3}$, а для зразка з $N_{Cl} = 5 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$ цей ефект ще виражений ще менше.

Висновки

1. Виявлений ефект малих доз, який проявляється у зростанні (~ в 4 рази) інтегральної інтенсивності білякрайової (екситонної) ФЛ ($I_{ФЛ}$) CdTe:Cl в результаті низькодозового γ -опромінення: $D = 8 \text{ кГр}$ для CdTe:Cl з $N_{Cl} = 5 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$; $D = 20 \text{ кГр}$ для CdTe:Cl з $N_{Cl} = 5 \cdot 10^{19} \text{ см}^{-3}$. Подальше збільшення D приводить до гасіння білякрайової ФЛ, що пояснюється введенням додаткових центрів безвипромінювальної рекомбінації.

2. На фоні немонотонної залежності інтегральної інтенсивності ФЛ від дози γ -опромінення $I_{\text{ФЛ}}(D)$ спостерігається перерозподіл інтенсивності в екситонному спектрі ФЛ: по відношенню до ліній ФЛ екситонів, локалізованих на фонових акцепторних центрах (A^0, X), інтенсивності всіх інших ліній ФЛ екситонів, локалізованих на центрах: Cd_{Te} , ($V_{\text{Cd}}-\text{Cl}_{\text{Te}}$) та ($V_{\text{Cd}}-\text{Cl}_{\text{Te}}$) (D^0, X) – екситони, локалізовані на донорних центрах Cl_{Te} ; G – екситони, локалізовані на акцепторних центрах ($V_{\text{Cd}}-2\text{Cl}_{\text{Te}}$), W – екситони, локалізовані на акцепторах ($V_{\text{Cd}}-\text{Cl}_{\text{Te}}$) помітно зменшуються в результаті γ -опромінення CdTe:Cl .
3. Різкі зміни інтенсивності окремих смуг ФЛ після відпалу зразків CdTe:Cl розпочинаються при $T_A > 180$ °С. Вказані зміни викликані: а) зменшенням концентрації центрів Cl_{Te} внаслідок “випаровування” хлору з приповерхневої області кристалу; б) зростанням концентрації А-центрів, зумовлених створенням додаткових

вакансій кадмію – за рахунок “випаровування” атомів Cd з приповерхневої області CdTe:Cl .

Будзуляк С.І. – кандидат фізико-математичних наук, старший науковий співробітник Інституту фізики напівпровідників ім. В. Є. Лашкарьова НАН України;
Лоцько О.П. – аспірант Інституту фізики напівпровідників ім. В. Є. Лашкарьова НАН України;
Вахняк Н.Д. – кандидат фізико-математичних наук, старший науковий співробітник Інституту фізики напівпровідників ім. В. Є. Лашкарьова НАН України;
Калитчук С.М. – кандидат фізико-математичних наук, старший науковий співробітник Інституту фізики напівпровідників ім. В. Є. Лашкарьова НАН України;
Корбутяк Д.В. – доктор фізико-математичних наук, професор, заввідділом Інституту фізики напівпровідників ім. В. Є. Лашкарьова НАН України.

- [1] *Полупроводниковые детекторы в экспериментальной физике*, под ред. Ю.К. Акимова. Энергоатомиздат, М. (1989).
- [2] Д.В.Корбутяк, С.В.Мельничук, П.М.Ткачук. Домішково-дефектна структура CdTe:Cl - матеріалу для детекторів іонізуючого випромінювання // *УФЖ*, **44**(6), 730 (1999).
- [3] *Телурид кадмію: домішково-дефектні стани та детекторні властивості: монографія* / Д. В. Корбутяк, С. В. Мельничук, Є. В. Корбут, М. М. Борисюк. "Іван Федоров" К. 198 с. (2000).
- [4] Д. В. Корбутяк, Е.Ф. Венгер, С.Г. Крылок и др. Детекторы X- и γ -излучений на основе монокристаллов CdTe и CdZnTe (обзор) // *ОПТ*. (36), сс. 5-34 (2001).
- [5] J. P. Chamonal, E. Molva J.L. Pautrat. Identification of Cu and Ag acceptors in CdTe // *Solid State Commun*, – **43**(5), pp. 801-805 (1982).
- [6] F.J. Bryant, H.J. Totterdell. Electronradiationdamageandtheedgeemissionof CdTe // *Radiat. Effects*, **9**(1), pp. 115-120 (1971).
- [7] S. Seto, A. Tanaka, Y. Masa et al. Annealingbehaviorofboundexcitonlinesinhighquality CdTe // *Appl. Phys. Lett.* – **53**(16), pp. 1524-1526 (1988).
- [8] H.-Y. Shin, C.-Y. Sun. Theexcitonandedgeemissionsin CdTe crystals // *Mat. Sci. Eng. B.* **52**, pp. 78-83 (1998).
- [9] R.O. Bell, F.V. Wald, C. Canali et al. Characterizationofthetransportpropertiesof halogen-doped CdTe usedfor gamma-raydetectors // *IEEE Trans. Nucl. Sci.* NS-21, pp. 331-341 (1974).
- [10] K. Saminadayar, J.M. Frankou, J.L. Pautrat. Electronparamagneticresonanceandphotoluminescencestudiesof CdTe:Cl crystalssubmittedtoheattreatment // *J. CrystalGrowth*. **72**, pp. 236-241 (1985).
- [11] S. Seto, A. Tanaka, Y. Masa, M. Kawashima. Chlorine-related photoluminescencelinesin high-resistivity Cl-doped CdTe // *J. CrystalGrowth*. **117**, pp. 271-275 (1992).
- [12] H.-Y. Shin, C.-Y. Sun. Photoluminescencespectraof Cl-doped CdTe crystals // *J. CrystalGrowth*, **186**, pp. 354-361 (1998).
- [13] H.-Y. Shin, C.-Y. Sun. Characterizationof high-resistivity CdTe crystalsfor γ -ray detectors // *Mat. Sci. Eng. B.*, – **41**, pp. 345-351 (1996).
- [14] S. Seto, K. Suzuki, V.N. Abastillas, K. Inabe. Compensatingrelateddefectsin In-dopedbulk CdTe // *J. CrystalGrowth*, **214/215**, pp. 974-978 (2000).
- [15] Н.Л. Дмитрук, В.Г. Литовченко. Эффекты радиационно-стимулированного гетерирования на границах раздела полупроводников A^3B^5 // *ОПТ*, (3), сс. 13-22 (1983).
- [16] М.Л. Дмитрук, Р.В. Конакова. Поверхнево-посилене радіаційне упорядкування в напівпровідникових гетероструктурах // *Вісник АН УРСР*, (6), сс. 18-30 (1989).
- [17] В.А. Зуев, Д.В. Корбутяк, В.Г. Литовченко. Излучательная рекомбинация через поверхностные и приповерхностные структурные дефекты в CaAs // *ФТП*, **8**(9), сс. 1651-1657 (1974).
- [18] В.Г. Литовченко, Д.В. Корбутяк, Е.Г. Лашкевич, Ю.Г. Садофьев. Обнаружение радиационно-стимулированного структурного упорядочения гетеросистемы GaAs-Si по спектрам низкотемпературной фотолюминесценции // *ФТП*, **19**(9), сс. 1704-1706 (1985).
- [19] Б.В. Павлик. Радіаційно-і термостимульовані процеси агрегації дефектів та виділення компонент діелектричних та напівпровідникових кристалів: Автореф. дис. на здобуття наукового ступеня д-ра фіз.-мат. наук: 01.04.10/ Львів. нац. у-т. 32 с. (1999).

S.I. Budzulyak, O.P. Lotsko, N.D. Vahnyak, S.M. Kalytchuk, D.V. Korbutyak

Transformation of Exciton-Impurity Complexes in Single Crystals CdTe: Cl Under the Influence of Gamma Irradiation and Thermal Annealing

V.E. Lashkaryov Institute of semiconductor physics, 03028, Kiev, 41 Prospect Nauky

Influence of γ -irradiation and thermal annealing on the transformation of the exciton-impurity complexes in single crystals of cadmium telluride doped with chlorine has been analyzed by the method of low-temperature photoluminescence. Non-monotonous dependencies of integral intensity of photoluminescence (PL) vs dose of γ -irradiation indicate crystal structure radiation-stimulated ordering (the low-dose effect). Maximum annealing temperature ($T \approx 170^\circ\text{C}$) has been calculated on basis of temperature dependencies of the photoluminescence spectra set. Significant impurity-defect structure changes should appear in CdTe:Cl after this maximum exceeding.