

УДК 535.343.2

З.П.Чорній, С.І.Качан*, Г.О.Щур, В.М.Салапак, С.П.Дубельт****Український державний лісотехнічний університет, кафедра фізики*****ДУ “Львівська політехніка”, кафедра техногенно-екологічної безпеки******ДУ “Львівська політехніка”, кафедра фізики**

$F_A \rightarrow M_A^+$ ТЕРМОІНДУКОВАНІ ПЕРЕТВОРЕННЯ У КРИСТАЛАХ CaF_2-Me^+

© З.П. Чорній, С.І.Качан, Г.О.Щур, В.М.Салапак, С.П.Дубельт, 2000

Досліджено $F_A \rightarrow (F_2^+)_A$ -перетворення центрів забарвлення в кристалах CaF_2-Me^+ ($Me^+=Li^+, Na^+, K^+, Rb^+$), опромінених X-променями при $T = 80$ К. Показано, що утворення M_A^+ -центрів відбувається двостадійно. На низькотемпературній стадії M_A^+ -центри утворюються внаслідок $F_A(1) \rightarrow (F_2^+)_A$ -перетворень, а на високотемпературній – в результаті захоплення F_A -центрами рухливих аніонних вакансій.

The $F_A \rightarrow (F_2^+)_A$ conversions of coloration centers in CaF_2-Me^+ ($Me^+ = Li^+, Na^+, K^+, Rb^+$) crystals, X-irradiated in temperature $T = 80$ K have been researched. It is shown that creation of M_A^+ -centers occurs in two stages. The M_A^+ -centers come into existence because of $F_A(1) \rightarrow (F_2^+)_A$ conversions during the low-temperature stage and in consequence of capture of the movable anion vacancies by F_A -center during the high-temperature stage.

У кристалах флюоритів реалізується найпростіший спосіб генерації електронних центрів забарвлення під дією іонізуючого випромінювання – захоплення зонних електронів дорадіаційними аніонними вакансіями. Джерелом аніонних вакансій є неізовалентні домішки – іони лужних металів (Me^+ -іони) або кисень (O^{2-} -іони), які входять у кристали флюориту як іони заміщення [1-3]. Структура електронних центрів забарвлення, які генеруються в кристалах радіацією, залежить від температури, при якій опромінюють кристал. При низькотемпературному опроміненні ($T < 150$ К) генеруються F_A -центри, при $T > 150$ К – M_A^+ -центри. Моделі даних центрів наведені на рис.1.

На рис.2 показано типові для MeF_2-Me^+ спектри наведеного поглинання кристалів, що містять F_A - і M_A^+ -центри (криві 1 і 2 відповідно). Природа смуг поглинання, орієнтація електричних диполів дефектів та їх реорієнтація детально досліджено в [4-5]. У цій праці розглянуто $F_A \rightarrow M_A^+$ -перетворення, які відбуваються в кристалах MeF_2-Me^+ при нагріванні забарвлених кристалів. Як показано нами в [6], термоіндуковані $F_A \rightarrow M_A^+$ -перетворення відбуваються у дві стадії. Ці центри різняться між собою кількістю вакансій, що входять до їх складу.

Оскільки перехід від одновакансійного F_A до двовакансійного $(F_2^+)_A$ -центра (за умови входження домішки в кристал у вигляді ізольованих домішково-вакансійних диполів - $Me^+(1)$ -центрів) потребує просторової міграції аніонної вакансії, то і, відповідно, основна стадія термостимульованих перетворень потребує просторового іонного переносу, а низькотемпературна – пов'язана з локальною міграцією (реорієнтацією аніонних вакансій в околі F_A - центра).

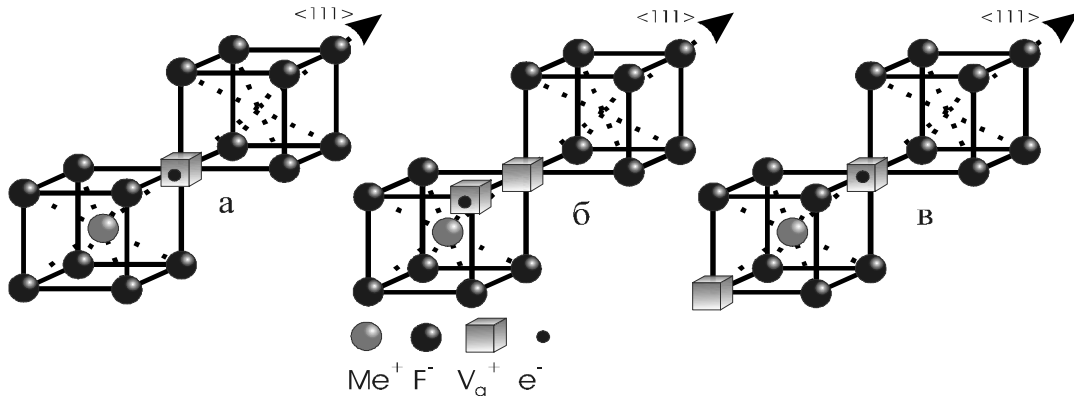


Рис.1. Моделі F_A^- (а), M_A^+ (б) і $F_A(1)_{[111]}$ -центрів (в)

Однак у такому випадку низькотемпературна стадія $F_A \rightarrow M_A^+$ -перетворень повинна збігатися з максимумом струмів термостимульованої деполіризації (ТСД), пов'язаних з релаксацією диполів. Але струми ТСД (зумовлені реорієнтацією ДВД) існують при температурах, коли $F_A \rightarrow M_A^+$ -перетворення заморожені (порівняй рис.3 і 4). Практично низькотемпературна стадія $F_A \rightarrow M_A^+$ -перетворень збігається з температурою, при якій виникають максимуми струмів ТСД, зумовлені реорієнтацією домішково-вакансійних асоціатів. Тому найбільш імовірно, що низькотемпературна стадія пов'язана з термоактивованою асоціацією F-центрів з аніонними вакансіями, які розташовані в околі домішкового іона. Такі $(F_A-V_a^+)$ -пари можуть утворюватися як внаслідок захоплення електронів на $Me^+(2)$ -центрах, так і при дисоціації $(F_2^-)_A$ -центрів.

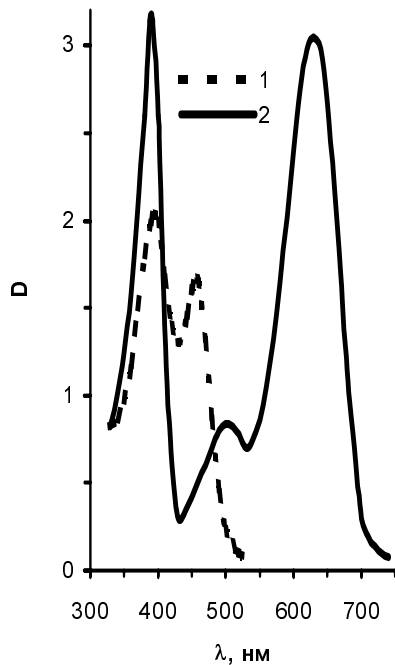
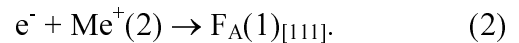
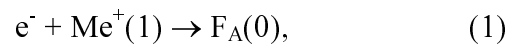


Рис.2. Спектр наведеного поглинання кристала CaF_2-Li^+ опроміненого при 80 К (1) і відпаленого до 300 К після опромінення при 80 К (2)

Як показано у [7], в кристалах зі структурою флюориту, легованих лужними металами, крім ізольованих ДВД ($Me^+(1)$ -центрів) утворюються вакансійні асоціати, до складу яких входять дві вакансії ($Me^+(2)$ -центр). Концентрація $Me_s^+(2)$ -центрів на два порядки менша порівняно з $Me_s^+(1)$ -центрами.

Під час опромінення кристалів X-променями відбувається локалізація зонних електронів на аніонних вакансіях з утворенням F_A -центрів і автолокалізація дірок у ґратці кристала:



Модель $F_A(1)_{[111]}$ -центра наведена на рис.1в. Оскільки до складу $F_A(1)_{[111]}$ -центра входить аніонна вакансія, то для утворення M_A^+ -центра не потрібно просторової міграції вакансії по кристалу, а лише її реорієнтаційний рух. З цієї причини реакція $F_A(1)_{[111]} \rightarrow M_A^+$ передреагує реакції $F_A(0) \rightarrow M_A^+$, що і зумовлює двостадійність термостимульованих перетворень центрів забарвлення. Оскільки $F_A(1)_{[111]}$ -центр можна

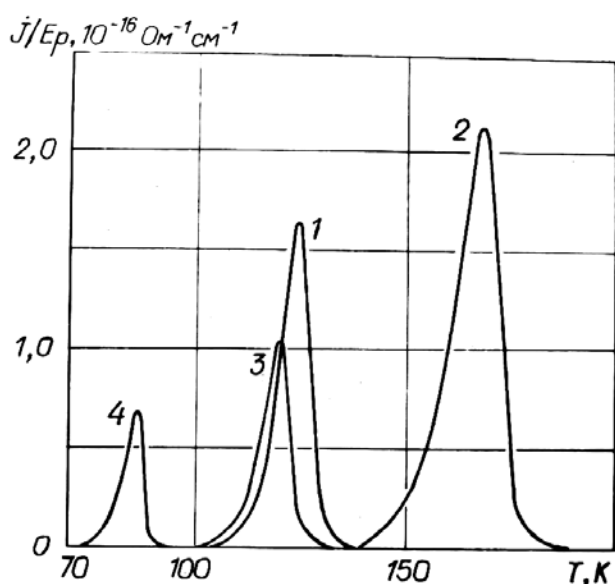


Рис.3. Струми ТСД у кристалах $\text{CaF}_2\text{-Li}^+$ (1), $\text{CaF}_2\text{-Na}^+$ (2), $\text{CaF}_2\text{-K}^+$ (3), $\text{CaF}_2\text{-Rb}^+$ (4)

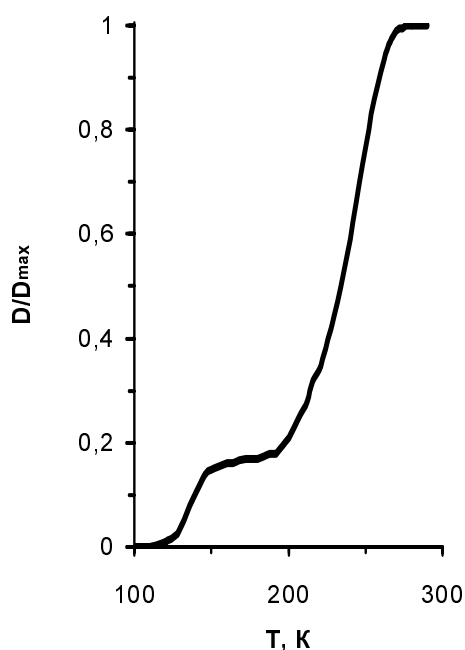


Рис.4. Температурна залежність оптичної густини MA_3^+ -смуги поглинання в кристалі $\text{CaF}_2\text{-Li}^+$

розглядати як $(\text{M}_s^+(2))^-$ -центр, то його реорієнтація ($\text{F}_A(1)_{[111]} \rightarrow \text{M}_A^+$ -перетворення) практично збігаються за температурою з температурою реорієнтації $\text{Me}_s^+(2)$ -центрів.

Як зазначалося вище, у високолегованих кристалах концентрація $\text{Me}_s^+(2)$ -центрів становить приблизно один відсоток від концентрації $\text{Me}_s^+(1)$ -центрів. Однак завдяки тому, що $\text{Me}_s^+(2)$ -центри мають ефективний додатний електричний заряд, а $\text{Me}_s^+(1)$ -центри електронейтальні, то ефективність захоплення ними електронів повинна бути на порядок вищою порівняно з останніми. З іншого боку, оскільки $\text{F}_A(1)_{[111]}$ -центр електронейтральний, а $\text{F}_A(0)$ -центр електрозаряджений, то ефективність висвітлю-

вальної дії рентгенівських променів на перших повинна бути низькою порівняно з $\text{F}_A(0)$ -центрами. Як показують експерименти, на стадії насичення забарвлення кристалів $\text{Me}_s^+(2)$ -центри руйнуються приблизно на 90 % від початкової концентрації $\text{Me}_s^+(2)$, в той час лише на 10-20 % - $\text{Me}_s^+(1)$ -комплекси. В результаті концентрація $\text{F}_A(1)$ -центрів може сягати приблизно 10 % від загальної кількості F_A -центрів, що і співмірно з вкладом у низькотемпературну стадію в процесі $\text{F}_A \rightarrow \text{M}_A^+$ -перетворень (рис.4).

1. Чорний З.П., Панасюк М.Р., Щур Г.О., Драган О.П., Максимович Х.К. Исследование ионных термотоксов в кристаллах $\text{SrCl}_2\text{-K}$ // Изв. вузов, Сер. физ. 1982. №9. С.80-83. 2. Чорний З.П., Панасюк М.Р., Крочук Х.К., Щур Г.О., Максимович Х.К. Исследование реориентации примесно-вакансионных диполей в кристаллах $\text{SrCl}_2\text{-Me}^+$. // Изв. вузов, Сер. физ. 1984. №9, с.106-108. 3. Чорний З.П., Щур Г.А., Качан С.И., Дубельт С.П. Ионные термотоки в радиационно окрашенных кристаллах CaF_2 // Изв. вузов, сер. физ. 1988. №6. С.116-117. 4. З.П. Чорний,

С.И.Качан, Г.А.Щур, С.П.Дубельт. Релаксация примесно-вакансионных диполей в легированных кристаллах CaF_2 // Физ. электроника 1987. в.35. С.97-100. 5. Чорний З.П., Панасюк М.Р., Крочук А.С., Максимович Х.К., Щур Г.А. Влияние фотохимической окраски на термостимулированные токи деполяризации в кристаллах $\text{SrCl}_2\text{-K}^+$ // Укр. физ. ж. 1982. т.27, №8 С.1219-1223. 6. Дубельт С.П., Качан С.И., Цаль Н.И., Чорний З.П. / F_A -центры в кристаллах CaF_2 легированных кислородом // Вест. Львовского ун-та, сер. физ. 1987. вып.21. С.19-23. 7. Щур Г.О., Крочук А.С., Панасюк М.Р., Чорний З.П. / Дослідження дипольних агрегатів в кристалах $\text{SrCl}_2\text{-Me}^+$ // Вісн. Львівського університету. Питання фізики конденсованих систем. Сер. фіз. 1983. Вип.17. С.12-17.

УДК 621.382

О.Ю.Бончик, А.О.Загіней, С.Г.Кияк, І.П.Паливода*, Г.В.Похмурська
Інститут прикладних проблем механіки і математики ім. Я.С.Підстригача
НАН України,*ДУ "Львівська політехніка", ГНДЛ-12

НЕСТІЙКОСТІ ПЛОСКОГО ФРОНТУ КРИСТАЛІЗАЦІЇ ПРИ ЛАЗЕРНІЙ ЕПІТАКСІЇ І ЛЕГУВАННІ НАПІВПРОВІДНИКІВ

© О.Ю.Бончик, А.О.Загіней, С.Г.Кияк, І.П.Паливода, Г.В.Похмурська, 2000

Описано механізми формування нестійкостей плоского фронту кристалізації, які виникають при лазерній епітаксійній кристалізації напівпровідникових шарів. Запропоновано чотири основні механізми, що зумовлюють виникнення таких нестійкостей, які, в свою чергу, призводять до формування на поверхні напівпровідників комірчастої структури різної природи.

Mechanisms of a planar interface instability initiation during laser epitaxy solidification of semiconductor layers are described in present paper. The main four mechanisms that determine such interface instability initiation have been proposed. These mechanisms set conditions for cellular structure of different nature formation on the semiconductor surface.

Істотна нерівноважність процесів, що відбуваються в зонах дії імпульсного лазерного випромінювання, призводить до виникнення нових фізичних явищ і процесів, які не спостерігаються в рівноважних умовах. Зокрема, встановлено, що приповерхневі шари, перекристалізовані з рідкої фази під дією лазерних імпульсів, є неоднорідними за товщиною і характеризуються комірчастою структурою. Неоднорідності структури викликані нестійкістю плоского фронту кристалізації, яка існує при лазерній рідкофазній епітаксії напівпровідникових шарів [1, 2]. Нестійкість плоского фронту кристалізації при дії на напівпровідники лазерного випромінювання виникає завдяки різним фізичним механізмам.

1. Найбільший вплив на процеси структуроутворення справляють домішки при високих дозах легування, коли надлишок домішок, концентрація яких перевищує граничне значення їх розчинності, відтісняється до поверхні розплавленого шару в процесі його кристалізації. Особливістю перерозподілу домішок у такому випадку, крім нерівноважної сегрегації легуючих елементів до поверхні, є формування накопичень лігатури у вигляді комірок у зв'язку з мікросегрегацією домішок, яка відбувається в напрямках, перпен-