

*На правах рукопису*

Л О С И К  
Микола Іванович

**ЕМІСІЙНІ І ЗАРЯДОВІ ЕФЕКТИ  
ПОВЕРХОНЬ СКОЛЮВАННЯ ІОННИХ КРИСТАЛІВ,  
ЩО МАЮТЬ РІЗНІ ТИПИ ДЕФЕКТІВ**

01.04.07 — фізика твердого тіла

Автореферат  
дисертації на здобуття вченого ступеня  
кандидата фізико-математичних наук

778 28.550  
Дисертацією є рукопис.

Робота виконана на кафедрі фізики державного університету «Львівська політехніка».

**Наукові керівники:** — доктор фізико-математичних наук, професор **НАБИ-ТОВИЧ Йосип Дмитрович;**  
— кандидат фізико-математичних наук, старший науковий співробітник **ГАЛІЙ Павло Васильович.**

**Офіційні опоненти:** — доктор фізико-математичних наук, професор **ДМИ-ТРУК Микола Леонтійович;**  
— доктор фізико-математичних наук, професор **ІВАН-КІВ Лев Іванович.**

**Провідна організація** — Харківський інститут монокристалів АН України.

Захист відбудеться «1» грудня 1993 р. о 15.15 год. на засіданні спеціалізованої ради Д 068.26.05 при Львівському державному університеті ім. І. Франка за адресою: 290005, м. Львів, вул. Ломоносова, 8а, Велика фізична аудиторія.

З дисертацією можна ознайомитись в науковій бібліотеці Львівського державного університету ім. І. Франка, м. Львів, вул. Драгоманова, 5.

Автореферат розісланий «28» жовтня 1993 р.

ЛНБ України ім.В.Стефаніка



00810718 (P)

Вчений секретар  
спеціалізованої ради,  
доктор фізико-математичних  
наук, професор

А. Є. НОСЕНКО

ЛНБ ім. В. Стефаніка  
АН України

**ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ**

Актуальність теми. У поверхневих процесах каталізу і епітаксiального нарощування велике значення має енергетична структура свіжоутворених поверхонь, якими найчастіше є поверхні сколювання (ПС). Процес руйнування лужно-галоїдних кристалів (ЛГК) і утворення ПС супроводжується їх деформацією у вершині рухомої сколюючої тріщини, що приводить до збудження електронної підсистеми кристалів, утворення і руху дислокацій, генерації точкових дефектів структури, спрямованому дрейфу домішок і вакансій. Все це визначає електронно-енергетичні властивості ПС, які необхідно розглядати в сукупності процесів і явищ, супроводжуваних їх утворення і релаксацією.

Утворення ПС супроводжується протіканням на ній і в приповерхневому шарі цілого ряду електронних і дислокаційних процесів. Наслідком сколювання ЛГК є електризація ПС і емісія електронів. Явище емісії електронів у процесі сколювання і релаксації свіжоутворених поверхонь - механоекзоемісія електронів (МЕЕЕ) - є універсальним при руйнуванні і спостерігається як на початкових стадіях процесу, так і деякий час, протягом релаксації ПС. МЕЕЕ різко зростає з початком руйнування кристалів, що дає змогу прогнозувати можливе руйнування конструкційних матеріалів. Кінетика МЕЕЕ визначається релаксаційними процесами і дає цінну інформацію про стан ПС.

Екзоелектронна емісія (ЕЕЕ), супроводжувачи релаксацію збуджених поверхонь, спостерігається також при стимулюючому освітленні (ФСЕЕЕ), енергія якого менша від необхідної для виникнення стаціонарної фотоемісії. Явище ЕЕЕ лягло в основу нового методу досліджень - методу екзоелектронної спектроскопії дефектів, який є одним з найбільш чутливих методів виявлення і дослідження приповерхневих дефектів, домішок, релаксаційних процесів. Тому дослідження кінетик електризації ПС ЛГК, релаксаційних МЕЕЕ і ФСЕЕЕ дозволить контролювати зміни в поляризаційно-зарядовій і енергетичній електронній структурах релаксуючих ПС кристалів. Комплексне дослідження емісійних і зарядово-поляризаційних ефектів, які спостерігаються при сколюванні іонних кристалів з різними дефектами (вакансії, домішки, електронні і діркові центри забарвлення (ЦЗ)) в контрольованій кількості є цінним для глибокого розуміння цих ефектів. Крім цього, при їх вивченні існує можливість моделювання і контролю різних стадій релаксації ПС. Тому подані в даній дисертації завдання і проведені для їх вирішення дослідження варто вважати актуальними.

Мета і завдання роботи полягає в дослідженні емісійних і поляризаційно-зарядових ефектів у процесі утворення і, особливо, релаксації поверхонь ЛГК, одержаних сколюванням у високому вакуумі, а також вивченні впливу домішок, вакансій, електронних і діркових ЦЗ на вказані вище ефекти.

Важливим завданням було встановлення основних закономірностей електризації, МЕЕЕ і ФСЕЕЕ, розкриття їх механізмів і взаємозв'язку з релаксацією свіжоутворених ПС, а також дослідження факторів (опромінення, температури), які впливають на релаксацію ПС і на ефекти, що її супроводжують.

Для досягнення поставленої мети в роботі:

- сконструйована і виготовлена високовакуумна установка для досліджень емісійних (МЕЕЕ, ФСЕЕЕ) і зарядових ефектів у процесі утворення ПС кристалів і їх релаксації;
- досліджена електризація поверхонь при сколюванні у високому вакуумі і кінетика релаксації поверхневого заряду після сколювання номінально чистих (НЧ), легованих катіонними ( $Ca^{2+}$ ) і аніонними ( $OH^-$ ) домішками ЛГК:  $KCl$ ,  $-Ca$ ,  $OH$ ;  $NaCl$ ;  $Ca$ ,  $OH$ ;  $KBr$ ,  $LiF$ ;
- вивчено вплив типу, концентрації легуючих домішок і температури на електризацію і кінетику релаксації заряду ПС кристалів;
- розрахована ефективна густина заряду ПС; запропоновано механізм їх електризації і релаксації заряду;
- дослідженні МЕЕЕ і ФСЕЕЕ ПС НЧ і легованих ЛГК; вивчено вплив електризації і температури на кінетику МЕЕЕ і ФСЕЕЕ;
- проведені дослідження впливу електронних і діркових ЦЗ різних концентрацій на кінетику релаксаційних МЕЕЕ і ФСЕЕЕ;
- розглянуто вплив дислокацій і їх взаємодії з ЦЗ на МЕЕЕ и ФСЕЕЕ; розрахована кінетика МЕЕЕ в рекомбінаційній моделі.

Наукова новизна результатів полягає в тому, що:

- вперше проведені дослідження кінетики МЕЕЕ ПС ЛГК з різними типом дефектів (аніонними і катіонними надлишковими вакансіями, електронними і дірковими ЦЗ); вивчено вплив температури на МЕЕЕ;
- вперше систематично досліджена ФСЕЕЕ ПС, одержаних у високому вакуумі, для НЧ, легованих, адитивно і радіаційно забарвлених кристалів, яка вивчалась в єдиному з МЕЕЕ експериментальному циклі після затухання останньої до деякого слабозмінного рівня;
- вперше в єдиному експериментальному циклі досліджені електронно-емісійні і поляризаційно-зарядові ефекти ПС цілої серії ЛГК, як НЧ так і з електрично-активними і нейтральними дефектами.

Наукова новизна роботи полягає перш за все в застосуванні комплексу високочутливих і взаємодоповнювальних методик дослідження релаксацийних процесів на ПС ЛГК, одержаних у високому вакуумі, які дали змогу одержати цілісну картину процесів, що відбуваються в поляризованому сколюванні приповерхневому шарі і на поверхні.

Практична цінність роботи полягає у фундаментальності одержаних результатів по поляризаційно-зарядових і емсійних ефектах, які супроводжують сколювання і релаксацію свіжоутворених поверхонь ЛГК. МЕЕЕ і ФСЕЕЕ ПС можуть служити методами контролю протікання релаксацийних процесів на свіжоутворених поверхнях і в приповерхневому шарі. Це особливо важливо при використанні сколів ЛГК як підкладок для епітаксiального нарощування напівпровідникових шарів і активних поверхонь каталізу.

Метод вимірювання потенціалу ПС може бути використаний як експрес-метод визначення основного типу і відносної кількості електрично-активних надлишкових вакансій. Явище МЕЕЕ може бути використане для спостереження і прогнозування зародження місць руйнування конструкційних матеріалів при їх деформуванні.

На захист вносяться такі основні твердження.

1. Пластична деформація берегів сколюючої тріщини і зумовлений нею рух дислокацій в приповерхневому напруженому шарі ПС і їх взаємодія з точковими дефектами є основною причиною виникнення поверхневого заряду і його релаксації. Знак ефективного поверхневого заряду визначається типом переважаючих надлишкових вакансій в об'ємі сколюваних кристалів.

2. Кінетика МЕЕЕ нерівноважних ПС НЧ і легованих ЛГК, яка супроводжує швидку стадію релаксації поверхні, зумовлена рекомбінаційними процесами комплементарних пар Френкелевських дефектів (ПФД), що створюються в приповерхневому шарі при сколюванні в аніонній і катіонній підрешітках  $([H, F], [V_{\text{к}}, F], [Me^{\cdot}, V_c^-])$ , і Оже-іонізацією електронних пасток.

3. Повільна релаксація ПС яскраво проявляється для забарвлених ЛГК і зумовлює наявність другого максимуму в кінетиці МЕЕЕ, що повільно затухає, вказуючи на характерну для них більш тривалу релаксацію і визначальну роль в цьому процесі взаємодії об'ємних ЦЗ з дислокаціями, що виходять на поверхню. Тривалість повільної релаксації і затухання МЕЕЕ забарвлених ЛГК визначається часом існування потоку дислокацій в приповерхневому шарі релаксуючої ПС.

4. Для ПС незабарвлених ЛГК, одержаних у високому вакуумі і час-

тково прорелаксованих, властиві селективні спектри фСЄЕЕ з максимумами в смугах поглинання електронних ЦЗ, створених сколюванням у тонкому приповерхневому шарі. Висока інтенсивність фСЄЕЕ зумовлена впливом електричних полів дислокацій на рух і вихід фототермозбуджених електронів.

5. Кінетика фСЄЕЕ ПС забарвлених ЛГК визначається зарядженими дислокаціями, їх релаксацийним рухом і взаємодією з об'ємними ЦЗ, а також їх впливом на рух і вихід електронів. Фотодеміферування руху дислокацій релаксуючого приповерхневого шару при фотостимулюванні, дифузія по дислокаційних каналах електронних ЦЗ, перенесення електронів, захоплених на дислокаційні рівні до ПС визначають кінетику релаксацийної фСЄЕЕ, відображаючої зміни в електронно-енергетичній структурі ПС.

Апробація роботи. Матеріали дисертації доповідались і обговорювались на: II Всесоюзному симпозиумі по активній поверхні твердих тіл (Тарту, 1977 р.); Всесоюзному симпозиумі "Застосування електронної мікроскопії в сучасній техніці" (Москва, 1978 р.); УІ, Х, ХІ, ХІІ Всесоюзних симпозиумах по механоemisії і механохімії твердих тіл (Ташкент, 1979 р.; Москва, 1986 р.; Чернівці, 1990 р.; Ліберець, Чехо-Словаччина, 1991 р.); Всесоюзній нараді "Екзоелектронна emisія і її застосування" (Свердловськ, 1979 р.); II Всесоюзній конференції по екзоелектронній emisії (Рига, 1981 р.); II, IV Всесоюзних симпозиумах "Екзоелектронна emisія і її застосування" (Москва, 1982 р.; Тбілісі, 1985 р.); Всесоюзному симпозиумі "Emisія з поверхонь напівпровідників, в тому числі екзоemisія" (Львів, 1989 р.); ХІХ, ХХ, ХХІ Всесоюзних конференціях по emisійній електроніці (Ташкент, 1984 р.; Київ, 1987р.; Ленінград, 1990 р.); IV Всесоюзному симпозиумі "Властивості малих частинок і острівкових металічних плівок" (Суми, 1985 р.); II Республіканській конференції по фізиці твердого тіла (Ош, 1989 р.); I Міжнародному симпозиумі по механоemisії і механохімії твердих тіл (Ліберець, Чехо-Словаччина, 1991 р.); X Міжнародному симпозиумі по екзоелектронній emisії і її застосуванні (Тбілісі, 1991 р.); щорічних наукових конференціях Львівського політехнічного інституту (1977-1993 р.р.).

Публікації. По матеріалах дисертації опубліковано 22 роботи.

Структура і об'єм роботи. Дисертація складається з вступу, п'яти розділів, заключення (153 сторінки машинописного тексту, 52 рисунків, 6 таблиць). Список літератури містить 166 найменувань.

## ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обгрунтована актуальність проблеми, сформульовані мета і завдання досліджень, викладені основні наукові положення і результати, які виносяться на захист.

У першому розділі проведений огляд літературних даних з МЕЕЕ і ФСЕЕЕ нерівноважних поверхонь ЛГК, поляризаційно-зарядових ефектів при їх утворенні і релаксації. Обговорені дискусійні і незв'язані питання.

На початку огляду розглянуті роботи, присвячені створенню ПЕД, при сколюванні ЛГК, зумовлені виникненням електронних збуджень в ядрах рухомих дислокацій, які зазнають зіткнень. Це дозволило зробити висновок, що при сколюванні ЛГК виникають енергетичні рівні точкових дефектів, які визначають енергетику різних процесів на ПС. Показано, що енергетичний спектр і електронні властивості ПС також, у певній мірі, визначаються наявністю в приповерхневому шарі дислокацій, сильної впливаючих на енергетичний спектр точкових дефектів.

Розглянуті роботи по екзоелектронній емісійній спектроскопії дефектів структури, згідно з якими ЕЕЕ є високочутливим поверхневим ефектом, тісно пов'язаним з структурними дефектами і супроводжуючих релаксацію збудженої (наприклад, механічною дією) поверхні. У цих роботах доведено, що явище емісії заряджених і нейтральних частинок, зокрема, електронів у процесі сколювання і релаксації свіжоутворених поверхонь (МЕЕЕ) є універсальним при руйнуванні ЛГК. Проаналізовані механізми МЕЕЕ, які підтверджують думку, що емітовані електрони є джерелом інформації про слабо вивчені електронні процеси при утворенні ПС і їх релаксації.

У 1984 році явище емісії електронів високої енергії, як властивість свіжоутворюваних поверхонь емітувати електрони, зареєстроване відкриттям у Держреєстрі СРСР.

Розглянуті роботи по ФСЕЕЕ пластично деформованих ЛГК, в яких встановлено виникнення ЦЗ при русі дислокацій і дислокаційна сенситивізація емісії електронів з забарвлених кристалів. Розглянута ФСЕЕЕ ЛГК з ЦЗ і лінійними дефектами, її механізми; взаємозв'язок між ЦЗ, енергетичними рівнями дислокацій і центрами ФСЕЕЕ. Відзначено, що систематичних досліджень по ФСЕЕЕ з поверхонь високовакуумних сколювань ЛГК не проводилось.

Детально проаналізовані роботи по зарядово-поляризаційних ефектах при пластичній деформації ЛГК. У той же час, більш складний процес сколювання ЛГК, який виключає в себе, як стадію, і пластичну де-

формацію берегів сколючої тріщини в цьому відношенні досліджений і висвітлений в літературі значно менше. Розглянути механізми електризації ПС кристалів, вплив домішок, температури і радіаційного опромінення, роль взаємодії дислокацій і точкових дефектів у виникненні і релаксації поверхневого заряду. На основі аналізу літературних даних в кінці розділу зроблені висновки і сформульовані нерозв'язані питання.

У другому розділі описані: експериментальна установка і методики дослідження емісійних і зарядових ефектів при утворенні ПС ЛГК і їх релаксації, інші допоміжні методики, які використовувались в дослідженнях і для втестування об'єму і поверхні кристалів. Застосування комплексу експериментальних методів і вмиле їх поєднання дозволяє більш однозначно інтерпретувати отримані результати, переконує в їх достовірності.

У цьому розділі детально описана сконструйована і виготовлена автором установка, її високо-вакуумна камера з основними елементами і вузлами, блок-схема установки і апаратне забезпечення, а також принципальні схеми деяких механічних і електронних пристроїв. Установка дає можливість у високому вакуумі ( $5 \cdot 10^{-7}$  Торр) в одному і тому ж експериментальному циклі проводити:

- сколювання ЛГК, чи інших подібних до них по механічних характеристиках кристалів, з одночасною реєстрацією часової кінетики емісії заряджених частинок методом їх лічби;
- дослідження кінетики електризації і релаксації електричного заряду свіжоутворених ПС методом зонда або циліндра Фарадея;
- вивчення спектрів фотоемісії і  $\Phi$ СЕЕЕ ( $\lambda = 400+800$  нм).

Описані методики проведення експериментів по МЕЕЕ,  $\Phi$ СЕЕЕ і вимірюванню електричного заряду ПС ЛГК (KCl, NaCl, KBr, LiF; KCl-Ca, -OH; NaCl-Ca, -OH). Кристали вирощувались методом Кіропулоса на повітрі, спеціально легувались катіонними ( $Ca^{2+}$ ) і аніонними ( $OH^-$ ) домішками; забарвлювались: радіаційно ( $\gamma$ -променями джерела  $Co^{60}$ ,  $D = 10^5 + 5 \cdot 10^6$  рад),  $X$ -променями (апарат УРС-55, 35 кВ, 10 мА) і адитивно в парях відповідного лужного металу.

Для ідентифікації ЦЗ і оцінки їх концентрацій проводилось спектrophотометрування радіаційно і адитивно забарвлених (P3) і (A3) кристалів на апараті „Spectord M-40”. Концентрація легуючої домішки  $OH^-$  оцінювалась по поглинанні в інфрачервоному діапазоні („Spectord-75UR”), а також кількісно ( $Ca^{2+}$ ,  $OH^-$ ) методом флуоресцентного аналізу („FRA-70”). В якості допоміжних методів дослідження ПС НЧ і легуваних ЛГК використовувались Оже-електронна спектроскопія (Оже-спектрометр „09

ИОС-2") - для оцінки елементного складу поверхні, а також методи електронної (мікроскоп УЭМВ-100К) і оптичної мікроскопії - для оцінки кількості дислокацій.

Вміст домішок в розплаві і вирошених кристалах.

В м і с т д о м і ш о к	
в розплаві (моль %)	в кристалі (моль %)
KCl (HCl)	Na - сліди; Pb - відсутній; Ca $\leq 3 \cdot 10^{-5}$ ; Ba - $7 \cdot 10^{-5}$ ; Cu - $3 \cdot 10^{-5}$ ; Mg - $3 \cdot 10^{-6}$
KCl + 0,2% KOH	$0,64 \cdot 10^{-2}\%$ OH
KCl + 1% KOH	$1,3 \cdot 10^{-2}\%$ OH
KCl + 0,5% CaCl <sub>2</sub>	$1 \cdot 10^{-2}\%$ Ca

У третьому розділі приведені результати експериментальних досліджень електризації поверхонь HCl і легованих ЛГК при їх сколюванні у високому вакуумі, а також кінетики релаксації потенціалу поверхні після сколювання. Вивчено вплив типу і концентрації лежучих домішок ( $Ca^{2+}$ ,  $OH^-$ ), температури на електризацію і кінетику релаксації заряду ПС. Розрахована ефективна густина заряду поверхонь, розглянутий механізм їх електризації і релаксації заряду.

Отримано, що для всіх HCl (NaCl, KCl, KBr, LiF) і легованих катіонною домішкою  $Ca^{2+}$  ЛГК знак заряду ПС (100), отриманих у високому вакуумі, додатній. Кінетика релаксації потенціалу ПС характеризується відносно "швидкою" ( $\tau_1 \approx 300+500$  с) і "повільною" ( $\tau_2 \approx (1,5+2,0) \cdot \tau_1$ ) стадіями, що зумовлено різними швидкостями релаксаційних іонних і дислокаційно-іонних процесів, протікаючих в приповерхневому шарі і на ПС. Кінетика релаксації потенціалу залежить від кристалу, типу і кількості домішок, температури.

Встановлено суттєвий вплив типу домішок ( $Ca^{2+}$ ,  $OH^-$ ) і їх концентрації (особливо у випадку  $OH^-$ ), визначаючих надлишковими компенсуючими їх заряд, вакансіями, зарядовий стан динамічних дислокацій, на початкову величину і знак заряду ПС легованих кристалів, а також кінетику спаду їх потенціалу. Наявність надлишкових, компенсуючих  $U_c^-$  в легованих ЛГК KCl-Ca, NaCl-Ca збільшує, в порівнянні з HCl (наявність термодинамічно рівноважних і "фонових"  $U_c^-$ ), початковий додатній заряд ПС. Домішка MeOH зменшує його, а починаючи з концентрації (0,0+1,0) моль % зумовлює інверсію знаку початкового ефективного заряду ПС.

Використовуючи експериментальні результати по електризації ПС і релаксації їх потенціалу розраховані, як найбільш інформативні: ефективні густини поверхневих додатних зарядів ( $\sigma_0, \sigma_1, \sigma_2$ ) і постійні часу „швидкої“ ( $\tau_1$ ) і „повільної“ ( $\tau_2$ ) стадій релаксації потенціалу для ЛГК КСІ, -Са, -ОН і NaCl, -Са, -ОН.

Електризація поверхонь сколювання і релаксація заряду ЛГК

Кристал	Потенціал поверхні: $U(t_p), В$			Густина ефективного поверхневого заряду: $\sigma_{\text{еф}}, Кл.м^{-2}$			Постійна часу релаксації: $\tau, с$	
	$U_0$	$U_1$	$U_2$	$\sigma_0, 10^{-2}$	$\sigma_1, 10^{-5}$	$\sigma_2, 10^{-6}$	„швид- кою“ $\tau_1$	„по- віль- ною“ $\tau_2$
	$t_p \rightarrow 0$	20 с	960 с	$t_p \rightarrow 0$	20 с	960 с		
NaCl	6	4,8	0,7	6,97	4,1	0,6	500	1241
NaCl (415 К)	4,5	4,0	0,01	3,84	3,2	0,08	19	136
КСІ	4	2,1	0,08	3,10	2,08	0,06	333	588
КСІ -0,3Са	7	2,95	0,18	5,44	2,6	0,14	375	480
КСІ -0,2ОН	2,5	1,4	0,03	1,94	1,44	0,024	285	470

$t_p$  - час релаксації потенціалу поверхні після сколювання.

Виникнення ефективного додатного заряду на поверхні НЧ і легованих  $\text{Ca}^{2+}$  ЛГК при сколюванні зумовлено пластичною деформацією поверхонь, що розкриваються, в усій сколюючій тріщині і рухом дислокацій в глибину від ПС з захопленням від'ємно заряджених нерівноважних „фонових“ (в НЧ) і компенсуючих (в легованих  $\text{Ca}^{2+}$ ) катіонних вакансій ( $V_C^-$ ). Приповерхнева область ПС, через яку рухались дислокації, набуває ефективного додатного заряду. Термоактивований рух до поверхні від'ємно заряджених дислокаційних сегментів під дією сил електростатичного зображення і лінійного натягу, поряд з йонними процесами (провідність), приводить до компенсації  $\sigma_{\text{еф}}^+$  і спаду потенціалу.

Сколювання ЛГК при підвищених температурах 330-340 К приводить до зменшення електризації ПС і до збільшення швидкості релаксації їх потенціалу, що зумовлено зменшенням дислокаційної поляризації приповерхневого шару ПС і зменшенням тривалості його існування, внаслідок зростання термоактивованих йонно-вакансійних, дифузійно-дрейфових деполаризуючих процесів. Процеси „вирівнювання“ заряду в приповерхнево-

му шарі ПС ( $\sigma_{\text{сф.}} \rightarrow 0$ ) відбуваються на дислокаціях і охоплюють, як показали розрахунки, області співмірні з радіусом домішково-вакансійної хмари Дебая-Хюккеля ( $10^{-6} + 10^{-5}$  см). Час спадання потенціалу визначається іонною провідністю кристалів і залежить від концентрації, рухливості вакансій, температури (див. табл.).

Сколювання ЛГК при різних температурах найбільш яскраво демонструє поляризаційні дислокаційні процеси в приповерхневих шарах ПС. Сколювання при кімнатних і більш низьких температурах забезпечує збільшення пробігів дислокаційних петель в глибину від ПС кристалів внаслідок зменшення коефіцієнта в'язкості їх руху і одночасно утруднює термоактиваційний рух під дією сил електростатичного зображення і лінійного натягу до поверхні, а також "заморожує" деполаризувачі дифузійно-дрейфові іонні процеси. Сказане приводить як до збільшення початкових значень  $\sigma_{\text{сф.}}$ , так і до збільшення часу його збереження. Підвищення температури сколювання ЛГК приводить до зворотніх ефектів - зменшення  $\sigma_{\text{сф.}}$  і  $\tau$  (див. табл.).

Отримані експериментальні результати і проведені розрахунки переконують, що поява  $\sigma_{\text{сф.}}$  на ПС ЛГК зумовлена наявністю в кристалах надлишкових заряджених вакансій певного знаку і їх взаємодією з рухомими при поширенні сколюючої тріщини дислокаційними петлями. В НЧ або ж легуваних  $\text{Cd}^{2+}$  (з надлишком  $\text{V}_{\text{C}}^{-}$ ) ЛГК ПС заряджається позитивно. При введенні в кристали аніонних домішок  $\text{OH}^{-}$  додатний заряд ПС зменшується, внаслідок термохімічних перетворень  $\text{OH}^{-} \rightarrow \text{O}^{2-}$  в процесі вирощування кристалів і, таким чином, збільшення концентрації  $\text{V}_{\text{A}}^{+}$ , компенсуючих фонові  $\text{V}_{\text{C}}^{-}$ , а починаючи з  $\text{MgOH} > 0,8+1,0$  моль % відбувається інверсія знаку ПС з додатнього на від'ємний. Пластична деформація і пов'язаний з нею рух дислокаційних петель в приповерхневому, напруженому сколюванні шарі і їх взаємодія з точковими зарядженими дефектами, є основною причиною поляризації приповерхневого шару ПС і появи ефективного поверхневого заряду ЛГК.

У четвертому розділі методом МБЕЕ досліджена релаксація ПС ЛГК, які містили різні типи дефектів (домішки, вакансії, електронні і діркові ЦЗ). Досліджено вплив температури на кінетику МБЕЕ, розглянутий Оже-рекомбінаційний і Оже-дислокаційний механізми МБЕЕ. В рамках цих механізмів проведені розрахунки кінетики МБЕЕ. Встановлено вплив взаємодії ЦЗ і дислокацій на кінетику релаксаційної МБЕЕ ПС.

Експерименти показали, що для НЧ кристалів  $\text{KCl}$ ,  $\text{NaCl}$ ,  $\text{KBr}$ ,  $\text{LiF}$  в кінетиці МБЕЕ ПС спостерігається один вузький максимум, початок якого співпадає з моментом сколювання і відрізняється для кожного з ЛГК

інтенсивність  $(1,5+4,5) \cdot 10^3$  імп·с<sup>-1</sup> і тривалість в півширині ( $\sim 0,1+1$  с). Кінетики МЕЕЕ для них подібні і складаються з: "миттєвого" наростання ( $\sim 10^{-4}+10^{-3}$  с); швидкої стадії затухання, яка супроводжує релаксаційні рекомбінаційні процеси на ПС і в приповерхневому шарі ( $\sim 10^{-2}+1$  с); повільної стадії затухання, контрольованої релаксаційними змінами в приповерхневій дислокаційній сітці. Встановлено вплив низьких температур  $140 \text{ K} < T < 300 \text{ K}$  на кінетику МЕЕЕ, який полягає в збільшенні часу затухання емісії внаслідок «заморожування» термоактивованих процесів релаксаційної рекомбінації. Температурна залежність кінетики МЕЕЕ є вагомим аргументом її рекомбінаційної природи. МЕЕЕ нерівноважних ПС НЧ і легованих ЛГК зумовлена рекомбінацією в аніонній і катіонній підрешітках комплементарних ПВД ( $[H,F]$ ;  $[V_n,F]$ ;  $[Me^+,U_c^-]$ ), створених на поверхні і в приповерхневому шарі сколюванням, і Оже-іонізацією, виділеною при рекомбінаціях енергією, електронних ЦЗ і інших електронних пасток. В дифузійній термоактиваційній моделі проведений розрахунок кінетик загасання МЕЕЕ ПС NaCl для вказаних вище рекомбінуючих пар і отримане у випадку  $[H,F]$  і  $[V_n,F]$  найкраще співпадіння з експериментом. Для випадку  $[H,F]$  рекомбінацій загасання МЕЕЕ  $j(t) \approx 10t^{-3/2}$  см<sup>-2</sup>·с<sup>-1</sup>, а для  $[V_n,F]$  -  $j(t) \approx \ln(10t)/t$  см<sup>-2</sup>·с<sup>-1</sup>. Кінетика МЕЕЕ ПС ЛГК найкраще описується релаксаційними рекомбінаціями, ініційованими рухом діркових  $H$  - і  $V_n$ -центрів, що підтвердили розрахунки температурної залежностей кінетики МЕЕЕ у вказаній моделі. Для ПС легованих кристалів KCl-Ca, -OH, NaCl-Ca, -OH особливостей в кінетиці МЕЕЕ при порівнянні з НЧ не встановлено. Подібність кінетик МЕЕЕ ПС НЧ і легованих ЛГК вказує на визначальну роль однакових для них типів рекомбінаційних релаксаційних процесів. Основним механізмом МЕЕЕ для них є Оже-рекомбінаційний, а центрами емісії електронів є електронні ЦЗ і електрони, локалізовані на дислокаційних рівнях.

У кінетиці МЕЕЕ ПС забарвлених (АЗ, РЗ) НЧ і легованих KCl, NaCl, на відміну незабарвлених, спостерігаються два максимуми. Інтенсивність МЕЕЕ в першому вузькому максимумі (тривалість в півширині  $0,5+1$  с) для АЗ і РЗ кристалів з F-ЦЗ ( $10^{16}+10^{17}$  см<sup>-3</sup>) значно вища, ніж для незабарвлених. Найбільші інтенсивності МЕЕЕ в першому максимумі спостерігались для АЗ кристалів KCl-Ca ( $5 \cdot 10^4$  імп·с<sup>-1</sup>). Другий, повільно спадаючий по інтенсивності, максимум МЕЕЕ ПС забарвлених кристалів відстає від першого в часі на  $1+200$  с в залежності від кристалу і методу його забарвлення, концентрації F-ЦЗ. Для АЗ кристалів KCl-OH на  $45+75$  с; для KCl - на  $70+80$  с; для KCl-Ca - на  $160+200$  с, а для РЗ кристалів встановлена залежність від дози опромінення (концентра-

ції F-ЦЗ). В інтенсивності другого максимуму МЕЕЕ ПС АЗ кристалів КСІ-ОН спостерігалась тенденція до його зростання з ростом концентрації домішки. Наявність другого максимуму в кінетиці МЕЕЕ і його повільне загасання для релаксуючих ПС забарвлених ЛГК вказує на характерну тільки для них, крім швидкої (як для незабарвлених) чітко вираженої повільної релаксації і основну роль в цьому процесі взаємодії ЦЗ з рухомими в приповерхневому шарі дислокацій, які виходять на ПС. Визначальним механізмом МЕЕЕ в другому максимумі є Оже-дислокаційний.

Отримано, що для сколів НЧ і легованих РЗ кристалів КСІ, NaCl, KBr інтенсивності першого Оже-рекомбінаційного і другого Оже-дислокаційного максимумів МЕЕЕ зростають з ростом дози опромінення ( $10^5 + 10^8$  рад) кристалів, зумовлюючи збільшення інтегральної екзоемісійної суми ( $\Sigma_1$ ) симбатно росту концентрації електронних F-ЦЗ. Встановлено значні відмінності в часі появи другого максимуму МЕЕЕ, який для РЗ ЛГК появляється значно раніше в часі ( $1 + 10$  с) в залежності від дози опромінення, ніж для АЗ кристалів. Ці відмінності зумовлені неоднаковими умовами руху і взаємодії дислокацій з ЦЗ і більшою інтенсивністю рекомбінаційних процесів в РЗ ЛГК, внаслідок наявності в приповерхневому шарі ПС рекомбінуючих комплементарних ПВД  $-[V_2, F]$ -ЦЗ. Вклад МЕЕЕ в ефективний додатний заряд ПС ЛГК є надзвичайно малим ( $\sigma_{sef}^+ / \sigma_{sef}^- \sim 10^{-9}$ ), де ( $\sigma_{sef}^- \equiv \Sigma_1 = \int_0^\infty I(t) dt$ ).

Розрахунок інтенсивності другого максимуму МЕЕЕ для ПС адитивно (АЗ) і радіаційно забарвлених (РЗ) КСІ

Густина дислокацій $n_d, \text{см}^{-2}$	Інтенсивність другого максимуму МЕЕЕ, $\text{тмп} \cdot \text{с}^{-1}$	
	АЗ; $N_F = 8 \cdot 10^{17} \text{см}^{-3}$	РЗ; $N_F = 0,7 \cdot 10^{17} \text{см}^{-3}$
$1 \cdot 10^4$	5,4	3,26
$1 \cdot 10^5$	$5,4 \cdot 10^2$	$3,26 \cdot 10^2$
$5 \cdot 10^5$	$1,35 \cdot 10^4$	$8,1 \cdot 10^3$
$1 \cdot 10^6$	$5,4 \cdot 10^4$	$3,26 \cdot 10^4$

Тривалість другого максимуму МЕЕЕ, його інтенсивність і загасання для ПС забарвлених ЛГК визначається часом існування в приповерхневій області потоку дислокацій, взаємодіючих з ЦЗ і виносячих їх з великих глибин ( $\sim 100$  мкм) до тонкого емітуючого шару ( $\sim 100$  нм). В моделі Оже-дислокаційної МЕЕЕ її тривалість повинна задовільно узгоджу-

ватись з характерним часом дебаєвського екранування вакансіями заряду дислокацій. Розрахований час загасання другого максимуму МЕЕЕ для ПС забарвлених кристалів КСІ ( $\tau \approx (3+3,5) \cdot 10^3$  с) задовільно співпадає з експериментальними даними і добре узгоджується із спадом електричного потенціалу ПС, так як обидва вони визначаються однотипним процесом взаємодії точкових і лінійних дефектів в приповерхневому шарі. МЕЕЕ є високочутливим методом спостереження релаксаційних процесів на рівні точкових і лінійних дефектів поверхні.

У п'ятому розділі приведені результати по фотостимульованій екзо-емісійній спектроскопії ПС КСІ, КВг, NaCl. Слід відмітити, що незважаючи на значну кількість робіт по МЕЕЕ ЛГК, до цього часу систематичних досліджень МЕЕЕ з ПС, отриманих в високому вакуумі і в єдиному циклі з МЕЕЕ (після затухання останньої до певного слабозмінного рівня) не проводилось.

Досліджено взаємозв'язок ЦЗ і центрів МЕЕЕ, вплив типу ЦЗ, їх концентрацій і взаємодії з дислокаціями на структуру спектрів МЕЕЕ ПС, що дозволило зробити висновки відносно впливу змін в зарядовій і енергетичній електронній структурі релаксуючих ПС всіх типів ЛГК (НЧ, легованих, АЗ, РЗ) на кінетику МЕЕЕ.

МЕЕЕ використана як метод дослідження енергетичного стану ПС ЛГК після їх часткової релаксації і затухання МЕЕЕ. "Модуляція" сколотов поверхнею фотоекзоемісійного струму, підсилення або послаблення його інтенсивності, зміна його селективності і, відповідно, структури спектрів МЕЕЕ в часі після сколювання, дозволила зробити висновки про наявність на ПС селективних центрів емісії, дискретних дислокаційних рівнів, електричних полів дислокацій, а також релаксаційної взаємодії точкових і лінійних дефектів в приповерхневому шарі ПС.

Отримано, що для всіх типів досліджених ЛГК МЕЕЕ ПС, отриманих в високому вакуумі, значно перевищує інтенсивність МЕЕЕ поверхонь, отриманих на повітрі, для яких, крім АЗ і РЗ, вона знаходиться на рівні фону. Наявність об'ємних ЦЗ, створених АЗ або РЗ в вихідних ЛГК приводить до появи МЕЕЕ низької інтенсивності ( $50+100$  імп·с<sup>-1</sup> в максимумах) з деякою структурою спектрів, при їх сколюванні на повітрі, причому максимуми емісії знаходяться в області смуг поглинання електронних ЦЗ. "Гасіння" збудження ПС незабарвлених кристалів при сколюванні їх на повітрі зумовлене самодовільною їх релаксацією і адсорбційною активністю газів лабораторного середовища ( $O^-, O_2^-, OH^-$ ), деактивуючих і руйнуючих поверхневі центри емісії, створені сколюванням, які яскраво проявляються в спектрах МЕЕЕ при сколюванні і фотостимулюванні ПС кристалів у високому вакуумі.

Поверхні незабарвлених НЧ і легованих кристалів  $KCl, -Ca, -OH$ ;  $NaCl, -Ca, -OH$ , отримані сколюванням в високому вакуумі, мають селективні спектри  $\Phi_{SEEE}$  високої інтенсивності з одним максимумом, задовільно співпадаючим з максимумом смуг поглинання  $F-, Z-ЦЗ$ , збурених дислокаціями в забарвлених кристалах. Центрами емісії, як показали експерименти при послідовній кількох разовій стимуляції і висвітлюванні ПС в певних смугах, є електронні  $F-, Z-ЦЗ$ , створені сколюванням в тонкому приповерхневому шарі, а механізмом  $\Phi_{SEEE}$  є фототермоіонізаційний механізм. Висока інтенсивність  $\Phi_{SEEE}$  ( $\sim 10^3$  імпл·с<sup>-1</sup>) зумовлена впливом електричних полів дислокацій, створених сколюванням, на рух і вихід фототермозбуджених електронів  $F-, Z-ЦЗ$ . Для незабарвлених  $KCl, NaCl$  тип легуючої домішки впливає на інтенсивність  $\Phi_{SEEE}$  ПС. Катіонна ( $Ca^{2+}$ ) домішка збільшує, а аніонна ( $OH^-$ ) - зменшує інтенсивність селективних максимумів  $\Phi_{SEEE}$ .

Інтенсивність  $\Phi_{SEEE}$  високовакуумних ПС забарвлених (АЗ, РЗ) ЛГК  $KCl, -Ca, -OH$ ;  $NaCl, -Ca, -OH$  значно вище інтенсивності незабарвлених і володіє характерною для кожного типу кристалів структурою спектрів з селективними максимумами (не менше 2-х при  $\lambda = 400+800$  нм), які змінюються з часом при послідовному фотостимулюванні. Інтенсивність  $\Phi_{SEEE}$  ПС РЗ кристалів  $KCl$  в 1,5+2 рази вище інтенсивності АЗ кристалів, а  $I_{\Phi_{SEEE}}$  ПС АЗ  $KCl-Ca$  вище інтенсивності  $\Phi_{SEEE}$  АЗ  $KCl, -OH$ , що зумовлено присутністю в РЗ кристалах комплементарних ПдД і можливих їх рекомбінацій, збільшуваних  $I_{\Phi_{SEEE}}$  при фотостимуляціях, а також більш значним впливом електричних полів дислокацій в кристалах  $KCl-Ca$  на  $\Phi_{SEEE}$ . Центрами емісії ПС забарвлених кристалів є електронні ЦЗ, а також, слід вважати, електрони, локалізовані на дислокаційних рівнях.

Зроблено висновок; що інтенсивність і часова кінетика  $\Phi_{SEEE}$  ПС забарвлених ЛГК визначається релаксаційним «рухом» і взаємодією з ЦЗ дислокацій, а також впливом їх електричних полів на рух фототермозбуджених електронів. Заряд дислокацій і їх рух в приповерхневому шарі ПС визначає інтенсивність і кінетику  $\Phi_{SEEE}$ . Фотодеміферирування руху дислокацій до релаксуючої поверхні при фотостимулюванні забарвлених ЛГК, захоплення дислокаціями і «дифузії» по «дислокаційних каналах» електронних ЦЗ, транспортування електронів, захоплених на дислокаційні рівні, до поверхні збільшує протяжність в часі релаксаційної  $\Phi_{SEEE}$  з ПС АЗ і РЗ кристалів.

Кінетика  $\Phi_{SEEE}$ , як і  $MEEE$ , досліджуваних ПС ЛГК визначається змінами в зарядовій і електронній енергетичній структурі релаксуючих поверхонь, а самі методи ( $\Phi_{SEEE}$  і  $MEEE$ ) є придатними і надійними для

дослідження цих релаксацій.

### ОСНОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ І ВИСНОВКИ

1. Для НЧ ЛГК знак заряду ПС (100), одержаних в високому вакуумі, додатній. Встановлено суттєвий вплив типу домішок ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{OH}^-$ ) і їх концентрацій (особливо у випадку  $\text{OH}^-$ ) на початкову величину і знак заряду ПС легованих кристалів, а також кінетику спаду потенціалу.

2. Особливостей в кінетиці МЕЕЕ ПС легованих кристалів при порівнянні з НЧ не встановлено. Подібність кінетики МЕЕЕ НЧ і легованих ЛГК вказує на визначальну роль однакових для них типів релаксаційних рекомбінаційних процесів. МЕЕЕ нерівноважних ПС зумовлена рекомбінацією в аніонній і катіонній підрешітках комплементарних ПФД ( $[\text{H}, \text{F}]$ ,  $[\text{V}_k, \text{F}]$ ,  $[\text{Me}^+, \text{V}_c^-]$ ), створених на поверхні і в приповерхневому шарі сколюванням; оже-іонізацією, виділеною при рекомбінаціях енергією, електронних ЦЗ та інших електронних пасток.

3. Вклад МЕЕЕ в ефективний додатній заряд ПС ЛГК є надзвичайно малим ( $\beta_{s \text{ еф.}} / \beta_{s \text{ МЕЕЕ}} \sim 10^9$ ). Виникнення  $\beta_{s \text{ еф.}}^+$  на поверхні при сколюванні зумовлено пластичною деформацією поверхонь, що розкриваються в усті сколюючої тріщини і рухом дислокацій в глибину від ПС з захопленням від'ємно заряджених  $\text{V}_c^-$ . Приповерхнева область ПС, через яку рухались дислокації, набуває ефективного додатнього заряду. Термоактивізаційний рух до поверхні від'ємно заряджених дислокаційних сегментів, поряд з процесами іонної провідності, приводить до компенсації  $\beta_{s \text{ еф.}}^+$  і спаду потенціалу.

4. Сколювання ЛГК при підвищених температурах приводить до зменшення електризації ПС і збільшення швидкості релаксації їх потенціалу. Це зумовлено зменшенням дислокаційної поляризації приповерхневого шару ПС і зменшенням тривалості його існування. Процеси, які приводять до "вирівнювання" заряду в приповерхневому шарі ПС, відбуваються на дислокаціях і займають області, співмірні з радіусом домішково-вакансійної хмари Дебая-Хюккеля ( $10^{-6} + 10^{-5}$  см). Час спадання потенціалу визначається іонною провідністю кристалів і залежить від концентрації вакансій і температури.

5. В кінетиці МЕЕЕ забарвлених НЧ і легованих  $\text{KCl}$ ,  $\text{NaCl}$  на відміну від незабарвлених, спостерігається два максимуми. Наявність другого максимуму і повільне загасання його інтенсивності для релаксуючих ПС забарвлених кристалів вказує на характерну тільки для них, крім швидкої (як для незабарвлених ЛГК), повільної релаксації, а також головну роль в цьому процесі взаємодії ЦЗ і рухомих в приповерх-

невому шарі дислокацій, що виходять на поверхню. Визначальним механізмом МЕЕЕ в другому максимумі є Оже-дислокаційний.

6. Для РЗ НЧ і легованих КСі, NaCl інтенсивності першого Оже-рекомбінаційного і другого Оже-дислокаційного максимумів МЕЕЕ зростають з ростом дози опромінення ( $10^5 + 10^8$  рад) кристалів, зумовлюючи збільшення інтегральної екзоемісійної суми симбатно росту концентрації електронних F-ЦЗ. Встановлено значні відмінності в часі появи другого максимуму МЕЕЕ, який для РЗ ЛГК появляється раніше (в залежності від дози опромінення), ніж для АЗ кристалів.

7. Тривалість другого максимуму МЕЕЕ і його загасання для забарвлених ЛГК визначається часом існування в приповерхневій області ПС потоку дислокацій. Час загасання другого максимуму МЕЕЕ і спаду електричного потенціалу ПС задовільно узгоджуються, так як зумовлені одним типним процесом взаємодії точкових і лінійних дефектів в приповерхневому шарі. МЕЕЕ є високочутливим методом спостереження релаксаційних процесів на рівні точкових і лінійних дефектів поверхні.

8. ФСЕЕЕ поверхонь, отриманих в високому вакуумі, значно перевищує інтенсивність ФСЕЕЕ ПС, отриманих на повітрі, для яких, крім забарвлених, вона знаходиться на рівні фону. Наявність ЦЗ в вихідних ЛГК, зумовлює ФСЕЕЕ з деякою структурою спектрів низької інтенсивності при їх сколюванні на повітрі. „Гасіння” збудження поверхонь в цьому випадку спричинено самодовільною їх релаксацією і адсорбцією газів з повітря, руйнуючих створені поверхневі центри емісії.

9. Поверхні незабарвлених НЧ і легованих ЛГК, одержаних сколюванням в високому вакуумі, володіють інтенсивними селективними спектрами ФСЕЕЕ з максимумами, задовільно співпадаючими з максимумами смуг поглинання F- і Z-центрів, збурених дислокаціями в забарвлених кристалах. Центрами емісії є електронні F- і Z-ЦЗ, створені сколюванням в тонкому приповерхневому шарі. Висока інтенсивність ФСЕЕЕ зумовлена впливом електричних полів дислокацій на рух і вихід фототермозбуджених електронів F- і Z-ЦЗ. Тип легуючої домішки ( $Ca^{2+}, OH^-$ ) впливає на інтенсивність ФСЕЕЕ.

10. Інтенсивність ФСЕЕЕ високовакуумних ПС забарвлених (АЗ,РЗ) ЛГК вища інтенсивності незабарвлених. Для кожного типу кристалів характерна структура спектру ФСЕЕЕ з селективними максимумами, які змінюються з часом при послідовному фотостимулюванні. Інтенсивність ФСЕЕЕ ПС РЗ кристалів вища інтенсивності АЗ. Центрами емісії ПС забарвлених кристалів є електронні ЦЗ і електрони дислокаційних рівнів.

11. Інтенсивність і часова кінетика ФСЕЕЕ ПС забарвлених криста-

лів визначається релаксаційним «рухом» і взаємодією заряджених дислокацій з ЦЗ, а також впливом їх полів на рух фототермозбуджених електронів. Фотодемпферування руху дислокацій при фотостимулюванні забарвлених ЛГК, захоплення дислокаціями і «дифузія» по «дислокаційних каналах» електронних ЦЗ, транспортування електронів, захоплених на дислокаційні рівні, до поверхні збільшує протяжність в часі релаксаційної ФСБЕЕ в ПС АЗ і РЗ кристалів.

Кінетики МБЕЕ і ФСБЕЕ досліджуваних ЛГК визначаються змінами в зарядовій і енергетичній електронній структурі релаксуючих ПС кристалів.

Основні результати дисертації опубліковані в наступних роботах:

1. Nabitovich I.D., Galiy P.V., Losyk M.I., Chikh N.I. Exoelectron Emission from Cleaved Surfaces of KCl Crystals Containing Coloured Centrs. // Поверхность. Физика, химия, механика. - 1993. - № 8. - С.54-60.
2. Nabitovich I.D., Galiy P.V., Losyk M.I., Chikh N.I. Exoelectron Emission from Cleaved Surfaces of KCl Crystals Containing Coloured Centers // 10-th Intern.Symp.on Exoelectron Emission and Application. - Tbilisi, 1991. - P.3,49.
3. Набитович И.Д., Галий П.В., Лосык Н.И., Чих В.И. Фотоксоземиссия электронов поверхности скола кристаллов KCl // Изв.АН СССР. Сер. физ. - 1991. - Т.55, № 12. - С.2437-2440.
4. Набитович И.Д., Лосык Н.И., Чих В.И., Галий П.В. Фотоксоземиссия электронов поверхности скола KCl // Тез.докл. XXI Всесоюз.конф.по эмиссионной электронике. - Ленинград, 1990. - Т.1, с.240.
5. Набитович И.Д., Лосык Н.И., Чих В.И., Галий П.В., Шкрывало Ю.М. Механо- и фотостимулированная экзоэлектронная эмиссия с поверхности скола аддитивно-окрашенных кристаллов KCl // Тез.докл.XI Всесоюз.симп.по механохимии и механоэмиссии твердых тел. - Чернигов, 1990. - Т.1, с.174-176.
6. Набитович И.Д., Чих В.И., Лосык Н.И. Эмиссия электронов с поверхности облученного монокристалла хлористого натрия // Радиационно-стимулированные явления в твердых телах. Сб.науч.тр. Уральского политехн.ин-та. - Свердловск, 1989. - С.29-32.
7. Лосык Н.И. Влияние дефектов структуры на фотостимулированную экзоэлектронную эмиссию с поверхности скола хлористого натрия // Тез. докл.Всесоюз.симп.: Эмиссия с поверхности полупроводников, в том числе экзэмиссия. - Львов, 1989. - С.99.
8. Набитович И.Д., Чих В.И., Лосык Н.И. Экзоэмиссия электронов с по-

- верхности скола КС1, содержащего различные типы дефектов// Тез. докл. Всесоюз. симп.: Эмиссия с поверхности полупроводников, в том числе экзэмиссия. - Львов, 1989. - С.51.
9. Чих В.И., Франив О.В., Лосик Н.И. Особенности роста тонких пленок меди на искусственных центрах кристаллизации хлористого натрия// Физическая электроника. - Львов, 1988. - № 36. - С.45-49.
  10. Набитович И.Д., Чих В.И., Лосик Н.И. Экзоэлектронная эмиссия облученных кристаллов легированного хлористого натрия// Тез. докл. XX Всесоюз. конф. по эмиссионной электронике. - Киев, 1987. - С.223.
  11. Набитович И.Д., Чих В.И., Лосик Н.И. Фотостимулированная электронная эмиссия после разрушения легированного хлористого натрия// Физическая электроника. - Львов, 1987. - № 35. - С.54-56.
  12. Набитович И.Д., Чих В.И., Лосик Н.И. Эмиссия электронов при механическом разрушении  $\gamma$ -облученного бромистого калия// Тез. докл. X Юбилейного симп. по механоэмиссии и механохимии твердых тел. - М., 1986. - С.14.
  13. Набитович И.Д., Лосик Н.И., Чих В.И. Исследование фотостимулированной электронной эмиссии со свежобразованной поверхности легированного хлористого натрия// Тез. докл. IV Всесоюз. симп.: Экзоэлектронная эмиссия и ее применение. - Тбилиси, 1985. - С.52-53.
  14. Набитович И.Д., Чих В.И., Лосик Н.И. Исследование электронной эмиссии со свежобразованной поверхности ШГК с примесями// Тез. докл. XIX Всесоюз. конф. по эмиссионной электронике. - Ташкент, 1984. - С.202.
  15. Френчко В.С., Шкробало В.М., Лосик Н.И. Модельный расчет заряда и эмиссия электронов из поверхностей скола ШГК// Тез. докл. II Всесоюз. симп.: Экзоэлектронная эмиссия и ее применение. - М., 1982. - С.63.
  16. Лосик Н.И. Влияние легирующих добавок на параметры электронной эмиссии ШГК// Тез. докл. II Всесоюз. конф.: Экзоэлектронная эмиссия и ее применение. - Рига, 1981. - С.39.
  17. Лосик Н.И. Исследование электронной эмиссии при расщеплении щелочногалогидных кристаллов// Сб.: Автоматика. Радиотехника. Электрофизика. - Львов, 1979. - С.141-143. - Деп. в УкрНИИТИ, 24.XII. 1980 г., № 2526.
  18. Набитович И.Д., Лосик Н.И., Малец В.Г. Исследование электронной эмиссии при разрушении ионных кристаллов// Тез. докл. Всесоюз. совещ. Экзоэлектронная эмиссия и ее применение. - Свердловск, 1979. - С. 11.

19. Набитович И.Д., Лосик Н.И. Исследование механоэмиссии свежеобразованных поверхностей щелочногалогидных монокристаллов// Тез. докл. УП Всесоюз. симп. по механоэмиссии и механохимии твердых тел. - Ташкент, 1979. - С.62-63.
20. Набитович И.Д., Шкрыбало Ю.М., Лосик Н.И. Электронно-микроскопическое исследование электрического состояния поверхности скола монокристалла// Тез. докл. Всесоюз. симп.: Применение электронной микроскопии в современной технике. - М., 1978. - С.140.
21. Набитович И.Д., Лосик Н.И., Шкрыбало Ю.М. Электрический заряд поверхности скола монокристалла при повышенных температурах// Тез. докл. П Всесоюз. симп. по активной поверхности твердых тел. - Тарту, 1977. - С.101.
22. Набитович И.Д., Шкрыбало Ю.М., Лосик М.И., Фечан В.Т. Электрический стан свіжоутвореної поверхні сколу лужно-галогідних кристалів// Електронна техніка та прилади: Вісник Львівського політехн. ін-ту. - Львів, 1977. - № 110. - С.3-7.

*M. Stefan*

Львівський національний університет  
імені Івана Франка

Підписано до друку 22.10.93р. Формат 60x84/16 Друк офсет. Папір  
друк. № 1 Умов.друк.арк. 1,17 Умов. фарбо-відб. 1,4 Обл. -вид арк.  
1,0 Тираж 100 прим. Зам. 3212.

---

Львівська обласна книжкова друкарня м.Львів, вул. Стефаніка, 11



1804081

AB 28.380

**AB 28.380**