

АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ
ІНСТИТУТ ФІЗИКИ

На правах рукопису

СІРАЦЬКИЙ ВІТАЛІЙ МИРОСЛАВОВИЧ

ДОСЛІДЖЕННЯ ФАКТОРІВ, ЯКІ ВПЛИВАЮТЬ НА ПАРАМЕТРИ
РАДІАЦІЙНОГО ДЕФЕКТОУТВОРЕННЯ В
БЕЗДИСЛОКАЦІЙНОМУ ТИГЕЛЬНОМУ КРЕМНІІ

01.04.07 - фізика твердого тіла

АВТОРЕФЕРАТ

дисертації на здобуття вченого ступеня
кандидата фізико-математичних наук

Київ - 1993

AB 20.579

Робота виконана в Інституті фізики АН України

Науковий керівник: кандидат фізико - математичних наук
ШАХОВЦОВ В.І.

Офіційні опоненти: доктор фізико - математичних наук
професор БУГАЙ О.А.

доктор фізико - математичних наук
ХИЖНЯК А.І.

Провідна організація: Київський державний університет

Захист відбудеться " ____ " _____ 1983 р. о ____
годині на засіданні Спеціалізованої Ради К 016.04.01 при
Інституті фізики АН України за адресою: 252650, Київ - 29,
проспект Науки, 46

З дисертацією можна ознайомитись в бібліотеці Інституту
фізики АН України.

Відгуки на автореферат у двох примірниках, завірені
печаткою, прохання надсилати на вказану адресу на ім'я
вченого секретаря.

Автореферат розіслано " ____ " _____ 1983 р.

Вчений секретар
спеціалізованої ради

Пржонська О.В.

ЛНБ України ім. В. Стефаника
00810717 (0)

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. В зв'язку з бурхливим розвитком напівпровідникової мікроелектроніки та розширенням сфери її використання все більша кількість приладів використовується в системах, які зазнають впливу іонізуючого випромінювання різних типів. Крім того, опромінення стало невід'ємною частиною технологічного циклу виробництва деяких приладів. Тому проблема взаємодії іонізуючого випромінювання з напівпровідниками та приладами на їх основі має велике наукове та практичне значення.

Незважаючи на велику кількість проведених досліджень, спостерігаються істотні розбіжності в параметрах, що характеризують ефективність процесів радіаційного дефектоутворення в напівпровідниках і властивості радіаційних дефектів. Це може свідчити про те, що існують деякі фактори, які не були враховані при проведенні експериментів, але які можуть суттєво впливати на швидкість зміни параметрів напівпровідника під опроміненням. В силу цього тема дисертації, в якій на основі аналізу попередніх експериментальних результатів здійснено спробу дослідження можливого впливу неврахованих раніше факторів на процеси радіаційного дефектоутворення в напівпровідниках має безумовний науковий інтерес.

Оскільки основним матеріалом сучасної напівпровідникової мікроелектроніки як і раніше залишається кремній, то тема дисертації має і практичне значення. В силу цього можна стверджувати, що тема дисертації є актуальною.

Головна ціль цієї роботи - дослідження деяких неврахованих раніше факторів на зміну електрофізичних параметрів кремнію під опроміненням.

В рамках поставленої задачі необхідно було вивчити такі питання:

1. Дослідити вплив внутрішньої природи утворених радіаційних дефектів на визначення електрофізичних параметрів кремнію при використанні різних експериментальних методів дослідження.
2. Дослідити особливості радіаційного дефектоутворення в кристалах промислового кремнію, що містять різні типи ростових мікронефектів.

3. Дослідити роль термічної історії в наступній зміні параметрів кремнію під час опромінення.

Наукова новизна проведених досліджень та отриманих результатів полягає в наступному:

1. Вперше досліджено вплив бістабільної природи дефектів з сильною електрон - коливальною взаємодією на їх прояву при використанні рівноважних та нерівноважних методів дослідження. Отримано математичні вирази, що дозволяють врахувати внесок бістабільності у визначення основних параметрів таких дефектів.
2. Вперше теоретично показано, що бістабільність радіаційного дефекту C_1C_3 зумовлена лише електростатичною взаємодією.
3. Вперше проведено систематичне дослідження впливу ростових мікродфектів різних типів на радіаційне дефектоутворення в кремнії, вирощеному методом Чохральського.
4. При дослідженні термодонорів, що утворюються в кремнії під час термообробок при 530°C , вперше спостерігалась перебудова цих дефектів. Визначено їх параметри в залежності від тривалості термообробки.
5. Досліджено вплив термообробок при 1050°C на утворення вторинних радіаційних дефектів. Показано, що при великих дозах опромінення утворені термодефекти відіграють роль центрів непрямой анігіляції для компонент пар Френкеля.

На захист виносяться наступні положення:

1. Бістабільна природа дефекту може істотно вплинути на такі експериментально визначені параметри, як енергія іонізації, період захоплення а також час життя неосновних носіїв заряду при умові, що даний дефект є основним каналом рекомбінації.
2. Бістабільні властивості дефекту C_1C_3 в кремнії є наслідком чисто електростатичної взаємодії.
3. На відміну від кремнію, вирощеного безтигельною зонною плавкою, ростові мікродфекти у тигельному кремнії не впливають істотно на утворення як рекомбінаційно активних, так і нейтральних радіаційних дефектів.
4. В процесі термообробок при 530°C утворюється не менше чотирьох енергетичних рівнів мілких термодонорів з параметрами, що суттєво відрізняються від параметрів

відомих термодонорів. Енергія іонізації цих термодонорів зменшується при збільшенні часу термообробки, при цьому із збільшенням тривалості термообробки відбувається перебудова в бік більш мілких рівнів аж до повного зникнення більш глибоких.

5. Термодонори, що утворюються під час термообробок при 530°C не впливають на процеси радіаційного дефектоутворення в тигельному промисловому кремнії.
6. Термічні дефекти, що утворюються в кремнії, вирощеному методом Чохральського, під час термообробок при 1050°C по різному впливають на утворення радіаційних дефектів на лінійній та нелінійній ділянках їх дозової залежності: на лінійній ділянці вплив термодфектів визначається лише зміною концентрації розчиненого кисню, тоді як на нелінійній ділянці вони відіграють роль центрів непрямой анігіляції для компонент пар Френкеля.
7. В промисловому кремнії відсутні неконтрольовані внутрішні стоки, які здатні помітно впливати на параметри радіаційного дефектоутворення.

Наукова та практична цінність.

В роботі показано, що бістабільна природа радіаційних дефектів дійсно може бути причиною розбіжностей експериментальних результатів, одержаних при вивченні радіаційного дефектоутворення. Отримано математичні вирази для опису поведінки бістабільних дефектів при різних умовах експерименту. Результати цих досліджень можуть бути узагальнені на більшість відомих мультистабільних дефектів.

Показано, що коливальна ентропія не вносить вкладу в бістабільну природу радіаційного дефекту C_1C_2 в кремнії.

Дослідження впливу ростових мікродефектів та термічних дефектів на початковий етап утворення радіаційних дефектів в тигельному кремнії дозволило зробити висновок про відсутність ефективних неконтрольованих стоків. Цей висновок є важливим для опису процесів радіаційного дефектоутворення за допомогою квазіхімічних реакцій.

Показано, що існують режими термообробок, які можна використовувати для відпалу термодонорів та для створення внутрішніх гетерів для небажаних домішок без впливу на радіаційну стійкість кремнію.

Отримані результати можуть бути використані для вдосконалення радіаційної технології виробництва напівпровідникових приладів, а також для прогнозування зміни основних параметрів кремнію при термо- та радіаційних впливах.

Апробація роботи. Матеріали дисертації докладались та обговорювались на Міжнародній конференції по дефектам в напівпровідниках в Будапешті (УНР, 1988р.), Франкфурті (ФРГ, 1991р.), Міжнародній конференції по радіаційному матеріалознавству в Алушті (СРСР, 1990р.), VI Всесоюзній конференції по фізико-хімічним основам легування напівпровідникових матеріалів (Москва, 1988р.), I Національній конференції по дефектам в напівпровідниках (С.-Петербург, 1992р.), на всесоюзних семінарах по фізиці радіаційних пошкоджень в твердих тілах (Київ, 1986+1991рр.).

Публікації. По матеріалам дисертації опубліковано 8 друкованих робіт, список яких наведено в кінці автореферату.

Об'єм та структура роботи. Дисертаційна робота складається з вступу, п'яти глав, заключення та списку цитованої літератури з 142 найменувань. Дисертація містить 100 сторінок тексту, 38 малюнків, 7 таблиць.

ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтована актуальність теми дисертації, сформульовані основна ціль та задачі роботи, наведено положення, що виносяться на захист.

Перша глава являє собою огляд літературних даних з радіаційного дефектоутворення в кремнії. Показано, що, незважаючи на велику кількість робіт, присвячених цьому питанню, маються значні розбіжності в експериментально визначених значеннях параметрів радіаційного дефектоутворення в кремнії, зокрема, таких як швидкість утворення радіаційних дефектів та константа деградації часу життя неосновних носіїв струму (ННТ) під опроміненням, а також енергія іонізації та кількість утворених енергетичних рівнів. Розглянуто різні фактори, які можуть бути причиною цих розбіжностей. Зроблено висновок, що найбільш імовірними факторами являються структурні недосконалості, які завжди присутні в бездислокаційних кристалах кремнію (ростові мікродофекти), термічна предісторія а також внутрішня

природа самих радіаційних дефектів (мультистабільність).

Головна увага приділяється результатам, що були отримані в останні роки.

На основі огляду сформульовано експериментальні та теоретичні задачі, спрямовані на з'ясування можливого впливу вищезначених факторів.

В другій главі наведено опис використаних експериментальних методик.

Робота виконана на зразках промислового бездислокаційного кремнію, вирощеного методом Чохральського з питомим опором $1 + 45 \text{ ом.см.}$, а також на спеціально вирощених на ПХМЗ кристалах бездислокаційного тигельного кремнію, які містили різні типи ростових мікрodefektів. Після різки, шліфування, механічного та хімічного полірування на частині зразків шляхом напilenня золота в вакуумі були виготовлені бар'єри Шотткі. Для вимірів ефекту Холла зразки вирізались у формі подвійного хреста.

Опромінення проводилося γ -квантами ^{60}Co інтенсивністю до $3 \cdot 10^3 \text{ Р с}^{-1}$ та електронами з енергією 3 Мев та густиною струму $(0.2 + 5) \text{ мкА см}^{-2}$ при температурі $(25 + 70)^\circ\text{C}$.

Час життя ННТ визначався по релаксації нерівноважної фотопровідності; концентрація вільних носіїв струму - з ефекту Холла та вольтфарадних характеристик бар'єрів Шотткі; переріз захоплення та концентрації глибоких рівнів - методом DLTS. Всі перераховані методики дозволяли проводити експерименти в температурному діапазоні $(4.2 + 300)\text{K}$.

Виміри спектрів ІЧ-поглинання проводились на спектрометрах UR-20 та IFS-113V. Мікротвердість зразків визначалася за допомогою мікротвердометра ПМ-3 за розміром відбитку, залишеного алмазним індентором.

Для вимірів ефекту Холла використовувалась повністю автоматизована експериментальна установка.

Третя глава присвячена аналізу впливу бістабільної природи дефектів на експериментально визначасмі параметри цих дефектів та експериментальній перевірці отриманих математичних виразів.

Як об'єкт досліджень був вибраний радіаційний дефект - пара міжвузловий вуглець - вуглець у вузлі (C_1C_2) в кремнії, оскільки для нього точно відома конфігураційно-координатна діаграма.

На початку досліджується фізичний механізм виникнення двох просторових конфігурацій цього дефекту. В даному випадку таких механізмів може бути два: електростатична взаємодія в різних зарядових станах дефекту та зміна ентропійного члену у вільній енергії Гібса. При розгляді імовірностей знаходження C_1C_S в різних конфігураціях та зарядових станах виходить, що для того, щоби спостерігали різниці мінімумів енергій в різних конфігураціях досягалися за рахунок зміни ентропії необхідно, щоби співвідношення пружних сталей в різних конфігураціях перевищувало 10^2 , що для даного дефекту малоімовірно.

Розгляд мікроскопічних моделей різних конфігурацій дозволив визначити, які саме моделі відповідають мінімуму енергії і показав, що причиною асиметрії адіабатичних потенціалів C_1C_S є чисто електростатичне взаємодія.

З розгляду мікроскопічних моделей зроблено висновок про можливість існування третьої просторової конфігурації C_1C_S . Так як енергія в цій конфігурації вище, ніж у двох попередніх, то її експериментальне виявлення може бути можливим лише за наявності зовнішніх факторів, які могли б зменшити її енергію, наприклад, сильні поля пружних напружень.

Далі розглядається вплив бістабільності на статистику носіїв струму в напівпровідниках. Показано, що температурні залежності концентрації носіїв струму для бістабільних дефектів суттєво відрізняються від дефектів з однією конфігурацією. Так, при неврахуванні другої конфігурації похибка у визначенні енергії іонізації досягає 0.03 еВ. Кінцевий вираз для концентрації вільних електронів має вигляд:

$$n = \frac{1}{2A} (\sqrt{B^2 + 4AC} - B), \quad (1)$$

$$\text{де } A = 1 + \frac{x_{ab}}{x_{ba}}; \quad B = n_1^a \left(1 + \frac{x_{ab}}{x_{ba}} \right) + (N_f - N_d) \left(1 + \frac{x_{ab}}{x_{ba}} \right),$$

$$C = N_d n_1^a \left(1 + \frac{x_{ab}}{x_{ba}} \right), \quad N_f = (N_a + N_D) - \text{повна концентрація дефекту } C_1C_S;$$

$x_{ab(ba)} = \nu \exp(-\epsilon_{ab(ba)}/kT)$ - імовірність переходу з конфігурації А в конфігурацію В (відповідно з В в А).

Потім розглядається вплив бістабільної природи дефекту на процеси рекомбінації в напівпровідниках. Наявність другої конфігурації помітно ускладнює динаміку цих процесів. Наприклад, захоплення електрона в конфігурації В - перехід в конфігурацію А з подоланням активізаційного бар'єру - захоплення дірки - перехід в конфігурацію В і т.д. Отримано математичні вирази, які описують поведінки часу життя НІТ у випадку, коли бістабільний дефект є основним рекомбінаційним центром. Так, у випадку напівпровідника п-типу:

$$\frac{1}{\tau_e} \approx \frac{1}{N} \frac{1}{C_{ab}^p} \left[x_{ba}^- \left(1 + \frac{n_1^a}{n_0} \right) + x_{ab}^- \left(1 + \frac{n_1^b}{n_0} \right) \right] \quad (2)$$

де $C_{ab}^p = \langle c_{pa} \rangle x_{ba}^- + \langle c_{pb} \rangle x_{ab}^-$; n_0 - рівноважна концентрація електронів, $\langle c_{pa(b)} \rangle$ - усереднені по станам коефіцієнти захоплення електронів та дірок на $C_1 C_S$ у відповідній конфігурації,

$n_1^{a(b)} = N_c \exp \left(- \frac{\mathcal{E}_a(b)}{kT} \right)$; N_c - густина станів в зоні провідності.

У випадку р-типу провідності:

$$\frac{1}{\tau_p} \approx \frac{1}{N} \frac{1}{C_{ab}^n} \left[x_{ba}^+ \left(1 + \frac{p_1^a}{p_0} \right) + x_{ab}^+ \left(1 + \frac{p_1^b}{p_0} \right) \right] \quad (3)$$

При цьому досягнуто добре співпадіння теорії з експериментом. Неврахування бістабільної природи може приводити до великої похибки у визначенні концентрації рекомбінаційних центрів. Так, розрахункове значення концентрації при певних умовах може у 2.5 рази відрізнятись від реального.

В кінці третьої глави розглянуто фізичний зміст перерізу захоплення, яке визначається за допомогою DLTS у випадку бістабільних центрів. Отримано вираз, який описує залежність амплітуди піку DLTS А від тривалості імпульсу заповнення t_p для бістабільних дефектів:

$$\Delta C(t_p) = \frac{n}{an - \gamma} \left[a n \exp(-\gamma t_p) - \gamma \exp(-a n t_p) \right] \quad (4)$$

де $a = 6.4 \cdot 10^{13} \exp(-0.15/kT)$; $\gamma = 7.2 \cdot 10^{13} \exp(-0.19/kT)$, n - концентрація електронів в зоні провідності.

Показано, що використовуючи різні методи можливо визначити як перерізи захоплення для обох конфігурацій, так і висоту бар'єру для перебудови між різними конфігураціями.

В ході експериментів вперше була виявлена низькотемпературна перебудова $B^- \rightarrow A^-$, яка заповнює проміжок між існуючими даними по DLTS та ЕПР.

Четверта глава Присвячена дослідженню впливу ростових мікродфектів (РМД) в бездислокаційному тигельному кремнії на процеси радіаційного дефектоутворення. В даній праці використан кремній, вирощений із змінною швидкістю витягання що дозволило отримати в одному й тому ж зливку зони, які містять РМД різних типів.

Виміри розподілу оптично активного кисню по пластинках показали відсутність кореляції між вмістом кисню та типом РМД. Зафіксоване зменшення вмісту кисню від центру зливка до периферії пов'язане з виходом кисню назовні через поверхню зливку.

Оскільки використані зливки після вирощування не піддавались технологічному термодонорному відпалу, було досліджено залежність утворення перших термодонорів, або ТД-450 від типу РМД. Зроблено висновок, що концентрація ТД-450 не залежить від типу РМД. Цей висновок також було підтверджено експериментом по відпалу при $T=450^{\circ}\text{C}$.

Далі досліджено залежність константи деградації часу життя ННТ під опроміненням K_t від типу РМД. Виявилось, що вихідний час життя не залежить від типу РМД і в межах похибки однакове по всій пластині, істотно відрізняючись для різних злиwkів. Це являється свідченням того, що РМД не являються основним каналом рекомбінації в тигельному кремнії. Показано, що РМД не впливають помітно на K_t , що може свідчити про відсутність впливу РМД на початковому етапі утворення радіаційних дефектів.

При більших дозах опромінення вміст радіаційних дефектів контролювався по спектрам DLTS та температурним залежностям концентрації носіїв струму. Основним радіаційним дефектом в даному матеріалі є А-центр, що пояснюється високим вмістом кисню. Отримані результати свідчать, що існують відмінності в швидкостях утворення А-центрів у зразках з різними типами РМД. При цьому найбільша швидкість утворення спостерігалась у зразках з α -дефектами, а найменша - у зразках з В-мікродфе-

фектами. Хоча різниця й невелика за абсолютною величиною (24%), але вона вдвічі більша за похибку вимірювання.

В кінці глави наведено результати вимірів мікротвердості, оскільки вона є інтегральною величиною, яка дозволяє оцінити ефективність утворення як електрично активних, так пасивних дефектів. Вихідне значення мікротвердості було практично однакове в усіх зразках з різними типами РМД. Після опромінення мікротвердість зростає, що свідчить про вплив радіаційних дефектів на гальмування руху дислокацій, що утворюються під індентором. Незалежно від типу РМД мікротвердість збільшується з однаковою швидкістю і досягає насичення при одному й тому ж значенні поблизу $H=1400 \text{ кг/мм}^2$.

В п'ятій главі представлені результати по впливу термообробок при 530 та 1050°C на утворенні радіаційних дефектів в кремнії.

Діапазон термообробок (ТО) при 530°C характерний тим, що в ньому відсутні добре відомі термодонори, що утворюються в процесі відпаду при 450 та 650°C . Дослідження температурних залежностей ефекту Холла показали, що в процесі ТО при 530°C тривалістю (5 + 300) годин утворюються рівні донорного типу (ТД-530). Вони характеризуються на порядок меншою швидкістю утворення, ніж ТД-450 і утворюють декілька близьких рівнів в забороненій зоні. Енергія іонізації цих рівнів зменшується зі збільшенням тривалості ТО. Експерименти по DLTS показали, що утворюється не менше 4 рівнів, які належать ТД-530. Ці рівні характеризуються дуже малою енергією іонізації ($0.019 + 0.058$)eВ та аномально низькими значеннями перерізу захоплення ($10^{-17} + 10^{-19}$)см⁻², що вимушує припустити наявність близькодіючого відштовхуючого бар'єру. Ці значення енергії іонізації підтверджуються результатами вимірів ефекту Холла. Енергії іонізації всіх рівнів зменшуються з тривалістю ТО. Виявлена перебудова рівнів термодонорів з тривалістю ТО, яка приводить до появи більш мілких рівнів при одночасному зникненні більш глибоких.

Результати вимірів спектрів DLTS після опромінення свідчать про відсутність взаємодії ТД-530 з радіаційними дефектами.

В результаті дослідження впливу високотемпературної ТО при 1050°C на радіаційне дефектоутворення в кремнії

показано, що така термообробка веде до інтенсивного утворення SiO_2 -фази. При цьому концентрація розчиненого кисню зменшується майже вдвічі. Крім того, подібна IO веде до утворення термоакцепторів з енергетичними рівнями, розташованими в нижній частині забороненої зони. Концентрація цих термоакцепторів не перевищує 10^{14}см^{-3} . Виявлено, що IO при 1050°C на початковому етапі опромінення збільшує швидкість утворення Е-центрів при незмінній швидкості утворення А-центрів. Як впливає з проведеного аналізу, подібна поведінка пояснюється перерозподілом потоків первинних вакансій, які захоплюються на атоми кисню та фосфору, внаслідок зміни концентрації кисню.

Аналіз отриманих результатів дозволив зробити висновок про те, що в промисловому тигельному кремнії відсутні ефективні неконтрольовані стоки для компонент пари Френкеля, здатні впливати на кінетику накопичення радіаційних дефектів на початкових етапах опромінення.

При великих дозах опромінення, які відповідають нелінійній ділянці дозової залежності, коли значну роль можуть відігравати процеси непрямой анігіляції, швидкості утворення А-центрів та дивакансії помітно знижуються. При цьому уповільнення утворення радіаційних дефектів з тривалістю IO корелює з вмістом SiO_2 -фази. На основі експериментальних даних зроблено висновок, що SiO_2 -фаза виступає як центр непрямой анігіляції радіаційних вакансій та міжвузловин.

В заключенні сформульовано головні результати та висновки дисертаційної роботи:

1. Показано, що наявність двох просторових конфігурацій у бістабільного дефекту суттєво змінює його прояву при дослідженні як рівноважними, так і нерівноважними методами.
2. Показано, що джерелом бістабільної природи дефекту C_1C_3 у кремнії є суто електростатична взаємодія. Вклад коливальної ентропії в даному випадку нехтовно малий.
3. Виявлена низькотемпературна перебудова між конфігураціями дефекту C_1C_3 , що заповнює існуючий проміжок між даними з DLTS та ЕПР та підтверджує їх належність одному центру.
4. Вперше досліджено вплив ростових мікроефектів різних типів в тигельному кремнії на утворення радіаційних дефектів. Показано, що на відміну від зонного кремнію, ці дефекти не впливають на утворення як рекомбінаційно актив-

них, так і нейтральних радіаційних дефектів.

6. Виявлено, що відпал при 530°C веде до появи чотирьох нових енергетичних рівнів, які належать термодонорам з параметрами, відмінними від відомих у літературі. Енергія іонізації цих дефектів знаходиться у межах $(0.019-0.058)\text{eV}$ і залежить від тривалості відпалу: при збільшенні часу термообробки енергія іонізації зменшується. Вперше по DLTS зафіксована перебудова цих термодонорів з тривалістю відпалу, яка веде до зникнення більш глибоких рівнів одночасно з появою більш мілких.
6. Експериментально показано, що термообробка при 1050°C веде до інтенсивного утворення SiO_2 -фази, яка виступає в ролі центру непрямой анігіляції первинних радіаційних дефектів на нелінійній ділянці дозової залежності.
7. Виявлено, що на лінійній ділянці дозової залежності, відпал при 1050°C збільшує швидкість утворення E-центрів при сталій швидкості утворення A-центрів. Це, однак, пояснюється не впливом безпосередньо SiO_2 -фази, а перерозподілом потоків радіаційних вакансій внаслідок зміни концентрації кисню. Звідси також витікає висновок, що в промисловому кремнії відсутні неконтрольовані стоки, які можуть істотно впливати на утворення радіаційних дефектів.
8. Показано, що існують режими термообробок, які можуть бути використані для відпалу термодонорів або створення внутрішніх гетерів без зміни радіаційної стійкості кремнію.

Основні результати дисертації опубліковані в наступних роботах:

1. Помозов Ю.В., Сирацький В.М., Шаховцов В.И., Шиндич В.Л., Эйдензон А.М. Влияние ростовых микродефектов на накопление радиационных дефектов в кремнии. Тезисы Шестой Всесоюзной конференции по физико-химическим основам легирования полупроводниковых материалов, Москва, 1988. - с.171.
2. А.Н.Крайчинский, В.Б.Неймаш, Т.Р.Саган, В.М.Сирацький, В.М.Цмоць, В.И.Шаховцов, В.Л.Шиндич. Радиационное дефектообразование в Si, термообработанном при 1050°C . - УФЖ, 1989. - т.34, №7. - с.1074-1074.
3. V.B.Neimash, V.M.Siratsky, M.G.Sosnin, V.M.Tsmots, V.I.Shakhovtsov, V.L.Shindich, M.G.Milvidsky. Peculiarities of behaviour of irradiated heat-treated Si.

- Materials Sci. Forum. 1989. - v.38-41, pt.1. - p.165-170.
4. V.B. Neimash, V.M. Siratsky, V.I. Shakhovtsov, V.L. Shindich. Influence of thermal defects on the radiation defects creation in Si. Радиационное материаловедение (Труды Международной конференции по радиационному материаловедению, Алушта, 1990г.), т.9. - с.104-108.
5. Сирацкий В.М., Шаховцов В.И., Шиндич В.Л., Шпинар Л.И., Ясковец И.И. Электронные свойства бистабильных дефектов. ФТП. 1990. - т.24, №10. - с.1795-1799.
6. V.B. Neimash, T.R. Sagan, V.M. Tsmots, V.M. Siratsky, V.I. Shakhovtsov, V.L. Shindich. Intrinsic gettering of radiation defects in silicon caused by high-temperature oxygen-containing defects. Solid State Phenomena. 1991. - v.19-20, p.87-94.
7. V.B. Neimash, T.R. Sagan, V.M. Tsmots, V.M. Siratski, M.G. Sosnin, V.I. Shakhovtsov, V.L. Shindich. on the role of the uncontrolled sinks in silicon under irradiation. Phys.Stat.Sol(a). 1991. - v.123, p.K95-K100.
8. В.М. Сирацкий, М.Г. Соснин, В.И. Шаховцов, В.Л. Шиндич, Л.И. Шпинар, И.И. Ясковец. Особенности проявления мультистабильных дефектов в релаксационной спектроскопии. Тезисы Первой национальной конференции "Дефекты в полупроводниках", С.-Петербург, 1992. - с.121.

СІРАЦЬКИЙ ВІТАЛІЙ МИРОСЛАВОВИЧ

ДОСЛІДЖЕННЯ ФАКТОРІВ, ЯКІ ВПЛИВАЮТЬ НА ПАРАМЕТРИ РАДІАЦІЙНОГО ДЕФЕКТОУТВОРЕННЯ В БЕЗДИСЛОКАЦІЙНОМУ ТИГЕЛЬНОМУ КРЕМНІІ

Підписано до друку 05.10.93. Формат паперу 60x84/16.
Папір офсетний 72 гр/м². Офсетний друк. Ум.-друк.
листів 0,82. Об.-вид. листів 0,65. Тираж 100. Зак.92.
Безкоштовно.

Інститут фізики АН України, ВНГІ.
252650, Київ-22, ДСП, проспект Науки, 46.



7B 28.379

АВ 28.379

БЕЗКОШТОВНО