

Діагностика протонних пучків за допомогою кремнієвих PIN структур

І.Є. Анохін, О.С. Зінець

В протонній терапії поряд з протонами основного пучка завжди присутні вторинні нейтрони, які утворюються при формуванні пучка так і безпосередньо в тканинах пацієнта. Внаслідок високої відносної біологічної ефективності нейтронів поряд з дозами протонів необхідно контролювати поглинені дози вторинних нейтронів для оптимізації режиму опромінення з метою зменшення вторинних ефектів. Для цього необхідно вміти вимірювати окремо дози протонів та нейтронів як всередині так і поза межами протонного пучка. Доза нейтронів визначається за утворенням радіаційних дефектів (неіонізаційними втратами енергії), які призводять до зсуву прямої гілки вольт-амперної характеристики, а доза протонів визначається іонізаційними втратами енергії, які вимірюють за оберненим струмом PIN діода.

В роботі розглянуто можливість окремого визначення поглинутих доз нейтронів і протонів за допомогою кремнієвих планарних PIN структур. Малі розміри структур дозволяють вимірювати просторовий розподіл доз з точністю порядку геометричних розмірів структур (товщини та діаметра кругової структури). Розраховано розподіл доз у водяному фантомі для пучка протонів з енергією 50 та 250 MeV.

ЗМІНИ СТРУКТУРИ МОНОКРИСТАЛІЧНОГО КРЕМНІЮ ПІСЛЯ ОПРОМІНЕННЯ ВИСОКОЕНЕРГЕТИЧНИМИ ПРОТОНАМИ ТА α -ЧАСТИНКАМИ

В. І. Варніна, А. А. Гроза, П. Г. Литовченко, Л. С. Марченко,
М. І. Старчик, Г. Г. Шматко

Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ, Україна

На спектрометрах останнього покоління IFS-113V та FTIR Spectrum BXII Perkin Elmer досліджено ІЧ-спектри поглинання монокристалів кремнію опроміненних протонами з $E=6,8$ Мев флюенсами $(1; 1,9; 3) \cdot 10^{17} \text{ см}^{-2}$ та α -частинками з $E=27,2$ Мев флюенсом $1 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-2}$ на циклотроні У-120 ІЯД НАН України. Температура зразків під час опромінення не перевищувала 100°C . Кремній, вирощений методом Чохральського, пройшов попередню високотемпературну обробку для розчинення кисневовмістних ростових мікро преципітатів (1250°C протягом 2-х годин).

Виявлено залежність від флюенсу опромінення протонами утворення центрів, до складу яких входить водень, локалізований на розірваних зв'язках радіаційних дефектів в кремнії та розупорядкування монокристалів. Si-H зв'язки виникали при утворенні областей розупорядкування дивакансійного типу в монокристалах кремнію. Особливо значне розупорядкування виявлялось в кремнії при флюенсі опромінення $1,9 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-2}$, про що свідчила поява однофононного поглинання, яке заборонено в гомеоплярних кристалах типу кремнію умовами симетрії.

В кремнії, опроміненому протонами флюенсом $3 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-2}$, не спостерігалось ні розупорядкування кристала ні утворення Si-H зв'язків. А в кремнії, опроміненому α -частинками, за даними спектрів розупорядкування кристала також не виявлено. Ймовірно, в останніх двох випадках іонного опромінення при певному енерговиділенні (та перевищенні межі розупорядкування) створились умови для самоорганізації власних радіаційних дефектів в кристалі.

Проведено металографічні дослідження структури кремнію, опроміненого α -частинками. Встановлений розподіл дефектів вздовж напрямку опромінення: в області гальмування α -частинок спостерігаються найбільші напруги гратки кремнію. Навколо цієї області методом вибіркового травлення виявлено ямки, які, можливо пов'язані з накопиченим гелієм (рис. 1).

В пробіжній для α -частинок частині кремнію спостерігаються "стілки дефектів" розташовані паралельно площині гальмування α -частинок. "Стілки" чіткіші в центрі опроміненої частини

зразка, тобто проявляється залежність їх утворення від величини енерговиділення в певній частині зразка під час опромінення.

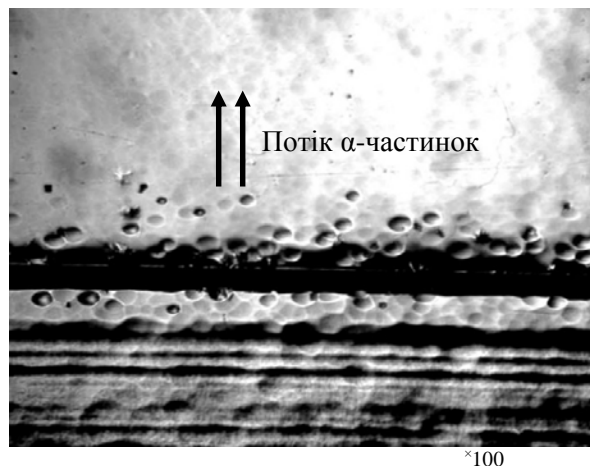


Рис. 1. Картина вибіркового травлення кремнію, опроміненого α -частинками ($E=27,2$ Мев, $\Phi=1 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-2}$).

Структура кремнію в запробіжній для α -частинок і неопроміненій частині кристала не відрізнялася.

Комплексні дослідження дії високоенергетичного опромінення легкими іонами показують, що при великому енерговиділенні в тонкому шарі кристала під час опромінення можуть створюватись умови для самоорганізації власних радіаційних дефектів, наслідком якої може бути утворення в дефектній підсистемі кристала надгратки у вигляді "стінок дефектів" розташованих перпендикулярно напрямку опромінення.

1. А. А. Гроза, П. Г. Литовченко, М. І. Старчик, В. І. Хіврич, Г. Г. Шматко, В. І. Варніна. Ефект далекодії в конденсованих середовищах та його прояв у кремнії, опроміненому високоенергетичними легкими іонами // *Ядерна фізика та енергетика*. – 2010. – т. 11, № 1. – С. 66-73.
2. А. А. Гроза, П. Г. Литовченко, М. І. Старчик, В. І. Хіврич, Г. Г. Шматко. Особливості ефекту далекодії в кремнії при імплантації ядер водню і гелію. // *Український фізичний журнал*. – 2010. – т. 55, № 6. – С. 699-705.
3. А. А. Гроза, П. Г. Литовченко, М. І. Старчик, В. І. Хіврич, Г. Г. Шматко. // *VII Міжнародна школа-конференція "Актуальні проблеми фізики напівпровідників", тези доповідей, Дрогобич, 28 вересня – 1 жовтня 2010 р.*, С. 198-199.

Деградація квантових точок та зміна їхніх енергетичних спектрів у напівпровідниках під дією опромінення

Г. В. Верцімаха, В. В. Михайловський, В.Й. Сугаков

Перспективи широкого застосування напівпровідникових структур з квантовими точками вимагають проведення досліджень впливу на системи різноманітних зовнішніх факторів, зокрема ядерного опромінення. Бажано дослідити вплив опромінення на ефекти чутливі до зміни структури та розподілу елементів в кристалі. Прикладом такої системи є напівмагнітні напівпровідники, в яких існує ефект гігантського магнітного розщеплення магнітних рівнів, і перерозподіл іонів марганцю під дією опромінення призводить до суттєвого збільшення розщеплення електронних рівнів в магнітному полі.

У роботі розглядається вплив зовнішнього опромінення на енергетичні спектри електронів, дірок та екситонів у квантових точках напівмагнітних напівпровідниках. Конкретні розрахунки проведені для квантових точок у системі $\text{Cd}_{1-x}\text{Mn}_x\text{Te}/\text{CdTe}$. Квантова точка формується внаслідок неоднорідного розподілу марганцю: усередині квантової точки марганець відсутній або його концентрація є малою, ззовні частина атомів Cd заміщуються атомами Mn.

Основним серед процесів в кристалах під опроміненням, що призводять до просторового перерозподілу магнітних іонів, є радіаційно-прискорена дифузія. Тому задача про розподіл магнітних іонів приводиться до розв'язання рівняння дифузії, в якому коефіцієнт дифузії залежить не лише від температури, а й від опромінення.

Отриманий профіль квантової точки при різних часах опромінення. Результати можуть бути виражені через характерний час t_0 , величина якого залежить від інтенсивності опромінення, температури і може змінюватися в широких межах: від декількох секунд при інтенсивності опромінення 10^{-4} зміщень на атом в секунду (типове опромінення електронами) та температурі 250-300°C, до десятків діб при інтенсивності опромінення 10^{-7} зміщень на атом в секунду (типове реакторне опромінення) та температурі 50-100°C.

Для розрахунків енергії зв'язку сферичної квантової точки використовувався варіаційний метод.

При опроміненні магнітні іони проникають у шар квантової ями, і з часом зростає розщеплення σ^{+-} та σ^{-} компонент екситонного переходу, оскільки всередині квантової ями домішки ефективніше взаємодіють з носіями заряду. При достатньо тривалому опроміненні концентрація магнітних іонів стає відміною від нуля у всьому шарі квантової ями, при цьому розщеплення смуг в ямах може перевищувати розщеплення в бар'єрному магнітному шарі внаслідок нелінійної залежності намагніченості від концентрації магнітних іонів.

Таким чином, у роботі показано, що пришвидшення дифузії марганцю внаслідок опромінення та утворення точкових дефектів призводить до розмиття профілю квантової ями. Проникнення магнітних іонів всередину квантової точки суттєво збільшує розщеплення екситонних рівнів у зовнішньому магнітному полі.

Месбауерівська спектроскопія феромагнетиків у радіочастотному магнітному полі

О. Я. Дзюблик¹, Е. К. Садиков², Г. І. Петров², В. Ю. Снівак¹.

¹Інститут Ядерних Досліджень НАН України

²Казанський державний університет

Нами розглянуто проходження месбауерівського випромінювання крізь кристал із м'якого феромагнетику розташованій в радіочастотному магнітному полі, яке спричиняє реверсії намагніченості кристалу. Побудована динамічна теорія розсіяння, що враховує багатократне перерозсіяння гамма-квантів в кристалі. Експериментально вимірюється енергетичний розподіл гамма-випромінювання, що пройшло крізь кристал FeVO_3 розташований в радіочастотному полі. Експериментальні дані добре збігаються із теоретичними розрахунками. Показано, що спектр гамма випромінювання, що пройшло крізь кристал, складається із рівновіддалених ліній розділених на подвійну частоту прикладеного радіочастотного магнітного поля на противагу до звичайних добре відомих спектрів поглинання. Цей ефект є результатом інтерференції хвиль у кристалі.

Дифузна і дрейфова рухливість електронів в n-Si, опромінену швидкими нейтронами реактора.

О.П. Долголенко

*Институт ядерных исследований НАН Украины. Проспект Науки, 47.
03680. Київ. Україна. Fax: 38(044)525-44-63.*

Диффузное и дрейфовое движение электронов в n-типе кремния, облучённом быстрыми нейтронами реактора.

А.П. Долголенко

*Институт ядерных исследований НАН Украины, Киев, Украина
E-mail: Odolgolenko@kinr.kiev.ua, факс +38(044)525-44-63.*

Рассмотрена область температур диффузного и дрейфового движения электронов в n-Si, выращенном методом Чохральского, после облучения быстрыми нейтронами реактора. Описаны температурные зависимости концентрации носителей в проводящей матрице и в объёме образцов и рассчитаны дрейфовые барьеры, определяющие их удельное сопротивление. В рамках уточнённой модели эффективной среды описана температурная зависимость удельного сопротивления n-Si ($\rho_0=40\Omega\cdot\text{см}$) после облучения быстрыми нейтронами реактора.

Показано, что учёт дрейфовых барьеров и перезарядки дефектов в областях пространственного заряда кластеров дефектов точнее описывает температурную зависимость удельного сопротивления. Подтверждено, что рассеяние носителей на заряженных дефектах и кластерах при учёте дрейфовых барьеров определяют температурную зависимость подвижности электронов в n-Si с введёнными кластерами дефектов. Уточнена поправка Херринга для подвижности электронов при их диффузном движении в n-типе кремния, облучённого быстрыми нейтронами реактора. Дано определение средней концентрации носителей в образце, определяемой из измерений эдс Холла.

Спрощенні рівняння для опису утворення преципітатів в матеріалах під опроміненням

М.В. Кобець¹, П.О. Селищев¹, В.І. Слисенко²

¹Київський національний університет ім. Тараса Шевченка

²Інститут ядерних досліджень НАНУ

Упрощенные уравнения для описания образования преципитатов в материалах под облучением

М.В. Кобець¹, П.А. Селищев¹, В.И. Слисенко²

¹Киевский национальный университет им. Тараса Шевченко

²Институт ядерных исследований НАНУ

В процессе облучения в материале образуются радиационно-индуцированные преципитаты. Присутствие радиационно-индуцированных преципитатов заметно влияет на механические, электрические, оптические свойства облучаемого материала.

Рассмотрена кинетика образования преципитатов. Предполагалось, что рост преципитатов обусловлен последовательным присоединением атомов. Уменьшение преципитата вызвано термостимулированным распадом.

Предложен метод построения упрощенной системы кинетических уравнений для описания образования преципитатов в квазистационарном приближении. Получены графики изменения концентрации радиационных дефектов и преципитатов со временем для исходной и упрощенной системы. Найдены аналитические выражения для стационарного распределения преципитатов по размерам.

Показано, что временные зависимости концентраций радиационных дефектов и их преципитатов имеет характерные всплески, связанные с нелинейной динамикой их накопления, а именно с началом интенсивного образования преципитатов большего размера.

В области исследованных параметров решение упрощенной системы совпадает с решением исходной системы начиная с времен, составляющих примерно 15% от характерного времени достижения стационарного состояния. Или, как только концентрации радиационных дефектов и их преципитатов начинала отличаться от своих стационарных значений менее чем на 90-98%, дальнейшая кинетика их накопления, в пределах заданной точности, описывалась упрощенной системой.

Вплив протонного опромінення на властивості ниткоподібних кристалів Si-Ge

П.Г. Литовченко¹, А.О. Дружинин², І.П. Островський², Ю.М. Ховерко²,
А.Я. Карпенко¹, Н.Т. Павловська^{1,2}, В.М. Цмоць³, Ю.В. Павловський³

¹Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ

²Національний університет „Львівська політехніка”, Львів

³Дрогобицький ДПУ імені Івана Франка, Дрогобич

Влияние протонного облучения на свойства нитевидных кристаллов Si-Ge

П.Г. Литовченко¹, А.О. Дружинин², И. П. Островский², Ю.М. Ховерко²,
А.Я. Карпенко¹, Н.Т. Павловская^{1,3}, В.М. Цмоць³, Ю.В. Павловский³

¹Институт ядерных исследований НАН Украины, Киев

²НУ “Львівська політехніка, ул. Котляревського, 1, Львов

³Дрогобычский государственный педагогический университет им. И. Франко,
Дрогобыч

Исследовано влияние магнитного поля с индукцией до 14 Тл и облучения протонами 6МэВ флюэнсом $\Phi=1\times 10^{17}$ см⁻² (температура образцов при облучении $\leq 40^\circ\text{C}$) на электропроводность нитевидных кристаллов (НК) Si_{1-x}Ge_x (x = 0,03) с удельным сопротивлением $\rho = 0,018$ Ом×см и концентрацией примеси, которая соответствует области перехода металл-диэлектрик (ПМД) в интервале температур 4,2÷300 К. Типичная температурная зависимость сопротивления облученного протонами НК Si_{1-x}Ge_x приведена на рис. 1, а.

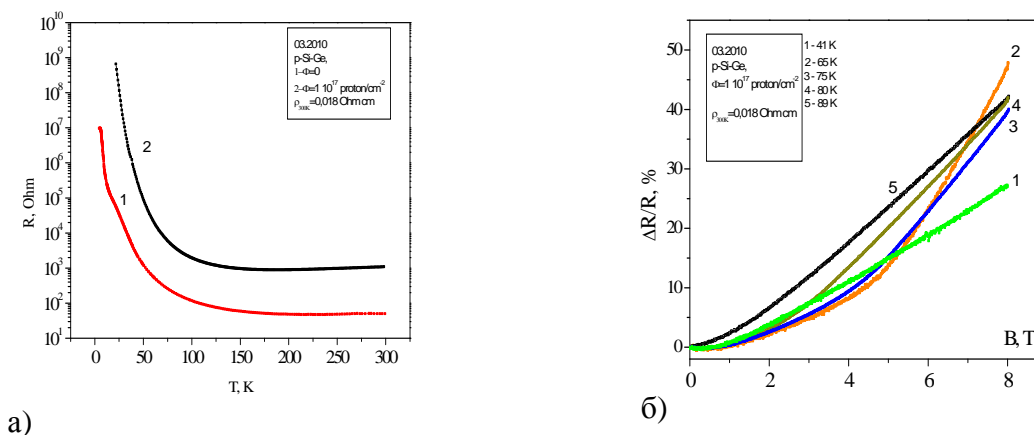


Рис. 1. Температурные зависимости сопротивления (а) и полевая зависимость магнитосопротивления (б) микрокристаллов Si_{1-x}Ge_x (x=0,03) с удельным сопротивлением $\rho=0,018$ Ом×см, облученных 6 МэВ протонами флюэнсом $\Phi=1\times 10^{17}$ см⁻²

Результаты исследования магнитосопротивления НК Si_{1-x}Ge_x (x = 0,03) приведены на рис. 1, б. Для образцов с диэлектрической стороны ПМД с $\rho = 0,018$ Ом×см магнитосопротивление облученных НК возрастает в сильных магнитных полях.

Обсуждается природа выявленных эффектов.

Поверхневі ефекти у приповехневих шарах фосфіду галію.

П.Г. Литовченко, І.В. Петренко, В.П. Тартачник

Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ, Україна

Досліджувались зразки фосфіду галію (база для одержання світлодіодних структур). опромінені 1 MeV електронами, 80 MeV α -частинками та 6,8 MeV протонами. Протонне опромінення відбувалось в умовах, коли половина зразка екранована від пучка. З допомогою атомного силового мікроскопа безпосередньо отримано інформацію про макродефекти у приповерхневій області кристала та вивчено вплив різних факторів на видимі порушення структури поверхневого шару. Порівняння рельєфу опроміненого та неопроміненого зразка проводилось співставленням двох поверхонь, котрі належали одній пластині.

Виявлено, що поверхня вихідного GaP має вигляд хаотично розташованих виступів, впадин, макродефектів, що вводяться при механічній обробці та в процесі травлення. Після опромінення поверхня кристала всяєна характерними нано - виступами приблизно однакового кінцевого профілю, причому рельєф між горбами однорідніший. Очевидно, що мінімізація вільної енергії опроміненого зразка здійснюється за рахунок зменшення концентрації поверхневих дефектів, котрі на завершальному етапі дифузійного процесу приймають активну участь в утворенні масштабних „nano-hills”.

CO₂⁻ радикали в біологічному та синтетичному гідроксил апатиті

*В.В. Носенко¹, І.П. Ворона¹, С.С. Іщенко¹, Н.П. Баран¹, Л.С. Чумакова¹,
І.В. Затовський²*

¹ Інститут фізики напівпровідників ім. В.Є. Лашкарьова НАН України

² Київський національний університет ім. Тараса Шевченка

Радіаційно-індуковані дефекти в карбонат-місткому гідроксилапатиті (CO₃-ГАП) широко використовуються в ЕПР дозиметрії та ЕПР датуванні для визначення радіаційного ураження населення та віку археологічних знахідок, відповідно. Відомо, що основними дефектами, які виникають в CO₃-ГАП під впливом іонізуючого випромінювання, є радикали CO₂⁻. Ці радикали обумовлюють формування трьох типів парамагнітних центрів: ізотропних, аксіальних та орторомбічних. У ряді робіт висловлювалося припущення, що відмінність цих центрів полягає у різній локалізації радикалів в ґратці ГАП. Так, наприклад, вважається, що аксіальні центри формуються CO₂⁻ радикалами, локалізованими в позиції *B* ґратки апатиту, а ізотропні - радикалами, розташованими у захопленій воді. Положення орторомбічних центрів є дискусійним, хоча більшість авторів вважають, що вони утворені поверхневими радикалами.

У даній роботі проведено порівняльне дослідження методом ЕПР радикалів CO₂⁻, що утворюються при γ- та УФ-опроміненні, а також під впливом термічних відпалів у порошках біологічних і синтетичних CO₃-ГАП. Також проведено дослідження впливу термічного відпалу на дефектну підсистему зазначених матеріалів.

Показано, що при γ- та УФ- опроміненні всіх CO₃-ГАП незалежно від їх походження основними парамагнітними дефектами є аксіальні та орторомбічні центри CO₂⁻. Причому, орторомбічні центри є домінуючими дефектами. Виявлена залежність співвідношення між аксіальним і орторомбічними центрами та типом опромінення: при УФ- опромінуванні вклад аксіальних CO₂⁻ більше, ніж при γ- опроміненні. У деяких зразках синтетичних ГАП виявлено термічно-стимульоване утворення центрів CO₂⁻.

Дослідження впливу термічного відпалу на центри CO₂⁻ показало, що при температурах T > 170⁰C відбувається зменшення кількості орторомбічних центрів, яке супроводжується збільшенням числа аксіальних та ізотропних CO₂⁻. Цей ефект пояснений перетворенням CO₂⁻(орт.) в аксіальні та ізотропні центри. На основі проведених досліджень запропоновано моделі трьох типів CO₂⁻ в CO₃-ГАП, згідно з якими всі три центри розташовані в позиції *B* ґратки апатиту, а їх відмінність полягає в оточенні та силі зв'язку з ґраткою. Орторомбічний центр має у своєму оточенні непарамагнітний дефект, який фіксує його орієнтацію в ґратці. За рахунок магнітно-нееквівалентних положень в ґратці і випадкового розподілу сусіднього дефекту центр CO₂⁻(орт.) має хаотичну орієнтацію. За відсутності сусіднього дефекту радикал CO₂⁻ обертається навколо своєї осі O-O, яка співпадає з віссю *c* ГАП, і формує центр аксіальної симетрії. Ізотропний CO₂⁻ слабо зв'язаний з ґраткою і випадковим чином орієнтований. У роботі також обговорюються механізми утворення центрів CO₂⁻ під впливом γ- та УФ-опромінення, а також при термічному відпалі.

Реконструкція та випробування реконструйованих зразків – свідків матеріалів корпусу реактора енергоблоку №1 ЮУАЕС ВВЕР-1000

В.Д.Оцалюк, В.М.Ревка, Ю.В.Чайковський, Л.І.Чирко

Реконструкция образцов-свидетелей металла корпуса реактора энергоблока № 1 ЮУАЭС

В.Д. Оцалюк, В.Н.Ревка, Ю.В.Чайковский, Л.И.Чирко

Для определения степени радиационного охрупчивания металла корпуса реактора энергоблока № 1 Южно-Украинской АЭС были проведены испытания на ударный изгиб и трещиностойкость реконструированных образцов-свидетелей облученного комплекта 3Л (металл сварного шва № 3 и основной металл нижней обечайки) и дополнительных сборок 1ЛФ (металл фланца, контролирующий состояние металла опорной обечайки) и 2Т (металл шва №4). Для испытаний были подобраны группы образцов (количество образцов в группе на ударный изгиб не менее 12 штук и не менее 6 штук на трехточечный изгиб) с максимальным разбросом флюенса от среднего значения в группе $\pm 10\%$.

Определены сдвиги критической температуры хрупкости ΔT_F , а также коэффициенты радиационного охрупчивания A_F и $A_F(95\%)$, определенные с доверительной вероятностью 95 %. Получено, что $A_F(95\%) = 20,1^\circ\text{C}$ для металла сварного шва и $12,7^\circ\text{C}$ для основного металла нижней обечайки. Для металла шва №4 $A_F(95\%)$ составляет $18,7^\circ\text{C}$ и $27,5^\circ\text{C}$ для металла фланца (металл 15X2НМФА).

На основании результатов испытаний реконструированных образцов-свидетелей комплектов 3Л, 1ЛФ и 2Т и мониторинга радиационной нагрузки корпуса реактора энергоблока №1 Южно-Украинской АЭС показано, что при условии сохранения существующей схемы загрузки активной зоны с пониженной утечкой нейтронов обоснован срок безопасной эксплуатации корпуса реактора блока №1 Южно-Украинской АЭС до конца 41-й топливной кампании (~ 2025 г.).

Вивчення можливостей модифікування поверхні кремнію для потреб газової сенсорики

М. Пінковська

Інститут ядерних досліджень НАНУ

Підсумовано результати дослідження з можливого втілення ідеї молекулярного сита в твердотільному варіанті, а саме, застосування прискорених важких йонів та протонів для модифікації поверхні кремнію із селективними адсорбційними властивостями до газів. Одночасно застосовувалися плазмово-хімічна та ультразвукова обробки поверхні.

Об'єктом досліджень були пластини монокристалічного Si (100) з природнім окисним шаром до 15 нм, структури SiO₂/Si із термічно нарощеним шаром двоокису товщиною 500 нм, структури SiO₂/SnO₂/Si та модельні гетеро-бар'єрні структури на основі кремнію. Зразки Si опромінено 6.8 MeV протонами та 27.2 MeV йонами He (альфа-частинки) на циклотроні У-120 ІЯД НАНУ, структури - йонами атомів важких елементів Ag (290 MeV), Xe (372 MeV), Bi (710 MeV), Kr на прискорювачі у Дубні. Вивчалася дія прискорених заряджених частинок на оптичні характеристики зразків кремнію, структур на його основі та на електричні характеристики модельних бар'єрних структур. Застосовуючи методику багатокуткової монохроматичної еліпсометрії, визначено оптичні параметри поверхні й окисної плівки до і після опромінення. Для вивчення впливу газового середовища вимірювання проводились у спеціально сконструйованому пристрою в парах спирту, аміаку, ацетону. Додатково застосовано скануючий електронний мікроскоп на базі S-806 (Hitachi) та мікроскоп атомних сил, який вивчає морфологію і топологію поверхні.

Показано, що опромінення кремнію протонами та альфа-частинками потоком приблизно 10¹⁷ см⁻² зумовлює деструкцію поверхні, але модифікація протікає відмінно: протони приводять до розпушування поверхні (зміна показника заломлення від 3.84 до 2.9), а йони гелію - до ущільнення (відповідно, показник заломлення росте від 3.84 до 4.1[1]). Адсорбційні властивості зразків до газів покращуються в обох випадках. Подібно до дії протонів відбуваються зміни показника заломлення кремнію при ультразвуковій обробці, однак наведені ультразвуком зміни нестабільні і з часом релаксують до початкового стану. Плазмово-хімічна обробка не дала значного впливу на адсорбційну здатність.

Дослідження структур SiO₂/Si, в яких треки, що виникають при йонному опроміненні, хімічним травленням перетворено в нанопори різного розміру, показали - зразки з нанопорами на всю товщину окислу (йони Bi) виявляють найкращі адсорбційні властивості. Заповнення пор окислом SnO₂ (який сам по собі є добрим сорбентом) робить пори рівномірнішими та додатково поліпшує адсорбційні властивості структур[2].

Як макети сенсорів застосовано діодні структури на основі модифікованого кремнію. Досліджувалися механізми переносу струму тестових структур в лабораторній атмосфері та при адсорбції парів аміаку. У випадку гетероструктури золото-модифікований протонами кремній адсорбція парів аміаку на поверхню кремнію змінює величину та поведінку струму насичення від температури в порівнянні з лабораторною атмосферою. Діодні структури з SiO₂/SnO₂/Si мають великий внутрішній опір і не виявили очікуваних значних впливів газів на вольт-амперні характеристики (ВАХ) порівняно зі структурами без окисного шару SnO₂/Si на основі опроміненого протонами кремнію [3].

Показано можливість застосування високоенергетичної радіації для створення газових сенсорів на основі наноструктурованого кремнію.

1. М.Л. Дмитрук, М.Б. Пінковська, В.І. Хіврич та ін. Оптичні та сенсорні властивості кремнію з природною та термічно нанесеною плівкою двооксиду, опроміненого прискореними зарядженими частинками //УФЖ, 55, 7 (2010)
2. О.С. Кондратенко, М. Б. Пинковская, В.И.Хиврич и др.. Радиационно-структурирование поверхности Si и SiO₂/Si. // Proc. of the Internat. Scien. Conf." Phys. and Chem. Principles of Formation and Modification of Micro- and Nanostructures, Kharkiv, Ukraine, 2008. P.520-521
3. V. V. P'chenko, V.I. Khivrych, P.V. Kuchynski et.al.. Research of mechanisms of charge transport in heterostructures on the basis of radiation modified Si at gas absorption. – Там само – с. 77-78

Вплив радіаційно-індукованого утворення преципітатів на динаміку росту сферичних крапель рідини в парі

П.О. Селищев

Київський національний університет ім. Тараса Шевченка

Влияние радиационно-индуцированного образования преципитатов на динамику роста сферических капель жидкости в паре

П.А. Селищев

Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко, физический факультет

Рассматривается среда, состоящая из сферических капель жидкости и молекул пара. Под действием ионизирующего облучения в паре образуются малые преципитаты. Действительно, облучение возбуждает и ионизирует молекулы среды. В газообразной среде такие молекулы могут существовать длительное время в отличие от возбужденных молекул жидкости. Ионизированная молекула поляризует окружающие ее молекулы, и за счет электростатического взаимодействия образуется преципитат. Аналогично может образоваться преципитат вокруг возбужденной молекулы, если при возбуждении она становится полярной.

Рассматривалась стадия роста капель, когда их концентрация постоянна, и все они имеют примерно одинаковый размер. Размеры преципитатов также предполагались одинаковыми и ниже порогового значения формирования капли жидкости. Время жизни преципитата является функцией температуры. Предполагалось, что преципитаты являются подвижными и также как одиночные молекулы пара могут быть поглощены каплями. В результате этого размер капли будет увеличиваться. Размер капли уменьшается при испускании ею одиночных молекул.

Изменение концентрации преципитатов и среднего радиуса капель описываются уравнениями баланса для концентрации преципитатов и радиуса капель. Система уравнений является нелинейной, она может допускать несколько стационарных решений, которым соответствуют различные стационарные состояния. Кроме этого, динамические решения уравнений в зависимости от начальных условий и значений параметров могут иметь качественно различный вид.

Результаты проведенного качественного анализа системы уравнений представлены в виде диаграмм состояния и фазовых портретов. Показано, что для различных значений параметров исследуемая модель может иметь два стационарных решения, одно стационарное решение или не иметь их вовсе.

Установлено, что динамика роста капель под облучением определяется подвижностью преципитатов по отношению к подвижности молекул. В зависимости от условий облучения и свойств облучаемой среды могут реализоваться решения, принадлежащие к качественно-различным классам. Размер капель может монотонно или немонотонно уменьшаться, монотонно, немонотонно или осциллируя стремиться к определенному стационарному состоянию.

Еволюція структур конденсованих фаз екситонів у напівпровідникових квантових ямах зі зміною накачки

В.Й. Сугаков¹, В.В. Томилко², А.А. Чернюк¹

¹Інститут ядерних досліджень НАН України

²Київський національний університет імені Тараса Шевченка

В останні роки досягнуто значних успіхів в експериментальних дослідженнях екситонів у подвійних квантових ямах, в яких час життя екситонів є великим [1]. Для збільшення густини екситонів часто створюють системи з потенціальними пастками, в яких екситони накопичуються [2]. В представлений роботі досліджується система з подвійною квантовою ямою в напівпровіднику, яка розташована між двома електродами, один з яких має форму диску. Форма потенціалу цього електрода близька до гармонічного. Аналогічна система з зовнішнім гармонічним потенціалом була реалізована на експерименті [3]. Нами було досліджено розподіл густини екситонів у площині квантової ями в залежності від інтенсивності зовнішнього збудження у вигляді «гаусового» профілю. Густина була розрахована згідно методу, запропонованому в роботах [4], в яких розглядувана система описується моделлю Ландау, узагальненою на випадок скінченного часу життя екситонів та присутності зовнішньої накачки. Розрахунки показали наступні результати. Утворення острівців конденсованих фаз відбувається при досягненні деякого порогового значення накачки. Зі збільшенням інтенсивності накачки окремі острівці зливаються в суцільні кільця. При подальшому збільшенні інтенсивності зовнішнього збудження, утворюється конденсована фаза з вкрапленнями острівців газової фази. Нарешті, при великих збудженнях з'являється лише суцільна конденсована фаза. Утворені періодичні структури є наслідком нерівноважності системи та є прикладом явищ самоорганізації в нерівноважних умовах. Вивчення таких систем може бути важливим для побудови мікроскопічної теорії конденсованої фази екситонів та розвитку оптоелектроніки.

1. L.V. Butov, J. Phys.: Condens. Matter 16, 1577 (2004). V.B. Timofeev, A.V. Gorbunov, and A.V. Larionov, J. Phys.: Condens. Matter 19, 295209 (2007).
2. A.T. Hammack, M. Griswold, L.V. Butov et al., Phys. Rev. Lett. 96, 227402 (2006). Z. Voros, D.W. Snoke, L. Pfeiffer et al., Phys. Rev. Lett. 97, 016803 (2006).
3. Gang Chen, Ronen Rapaport, L. N. Pfeiffer et al., Phys. Rev. B 74, 045309 (2006).
4. V.I. Sugakov, Solid State Commun. 63, 134 (2005). A.A. Chernyuk, V.I. Sugakov, Phys. Rev. B 74, 085303 (2006).