

ФІЗИЧНІ, ХІМІЧНІ ТА ІНШІ ЯВИЩА, НА ОСНОВІ ЯКИХ МОЖУТЬ БУТИ СТВОРЕНІ СЕНСОРИ

PHYSICAL, CHEMICAL AND OTHER PHENOMENA, AS THE BASES OF SENSORS

УДК 534.29

DOI <http://dx.doi.org/10.18524/1815-7459.2017.2.106604>

АКУСТОСТИМУЛЬОВАНА «КВАЗІКАВІТАЦІЯ» ВАКАНСІЙНИХ ДЕФЕКТІВ У НАПІВПРОВІДНИКАХ ПРИ ЇХ ВИСОКОЕНЕРГЕТИЧНОМУ ОПРОМІНЕННІ

Я. М. Оліх¹, Я. І. Лепіх²

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

² Міжвідомчий науково-навчальний фізико-технічний центр МОН і НАН України при Одеському національному університеті імені І. І. Мечникова
e-mail: ndl_lepikh@onu.edu.ua

АКУСТОСТИМУЛЬОВАНА «КВАЗІКАВІТАЦІЯ» ВАКАНСІЙНИХ ДЕФЕКТІВ У НАПІВПРОВІДНИКАХ ПРИ ЇХ ВИСОКОЕНЕРГЕТИЧНОМУ ОПРОМІНЕННІ

Я. М. Оліх, Я. І. Лепіх

Анотація. Стаття присвячена дослідженню фізичних процесів у напівпровідникових структурах під дією високоенергетичного опромінення при імплантації іонів Ag^+ , N^+ і O^+ і при одночасному опроміненні акустичними хвилями. Виявлено ряд ефектів обумовлених стимуляцією акустичним полем.

Ключові слова: іонна імплантація, акустичні хвилі, «квазікавітація», напівпровідники, дефектно-домішкові структури

ACOUSTOSTIMULATED "QUASI-CAVITATION" OF VACANCY DEFECTS IN SEMICONDUCTORS AT THEIR HIGH-ENERGETIC IRRADIATION

Ya. M. Olikh, Ya. I. Lepikh

Abstract. The article is devoted to the investigation of physical processes in semiconductor structures under the action of high-energy irradiation at Ar⁺, N⁺ and O⁺ ions implantation and at simultaneous acoustic waves irradiation. A number of effects caused by an acoustic field stimulation has been revealed.

Keywords: ionic implantation, acoustic waves, "quasi-cavitation", semiconductors, defective - impurity structures

АКУСТОСТИМУЛИРОВАНИЕ "КВАЗИКАВИТАЦИЯ" ВАКАНСИОННЫХ ДЕФЕКТОВ В ПОЛУПРООДНИКАХ ПРИ ИХ ВИСОКОЭНЕРГЕТИЧЕСКОМ ОБЛУЧЕНИИ

Я. М. Олих, Я. И. Лепих

Аннотация. Статья посвящена исследованию физических процессов в полупроводниковых структурах под действием высокоэнергетического облучения при имплантации ионов Ar⁺, N⁺ и O⁺ и при одновременном облучении акустическими волнами. Выявлен ряд эффектов обусловленных стимуляцией акустическим полем.

Ключевые слова: ионная имплантация, акустические волны, «квазикавитация», полупроводники, дефектно-примесные структуры

Вступ

При використанні інтенсивних акустичних хвиль (АХ) в процесі імплантації високих доз йонів Ar⁺, N⁺ і O⁺ в пластини кремнію, або H⁺ в епітаксійні плівки Si_xGe_{1-x}/Si, чи SiH₄⁺ в SiO₂, - було виявлено цілий ряд акустостимульованих (АС) ефектів, а саме: збільшення товщини аморфізованого шару, звуження профілю імплантованого в кремній бору, підвищення ефективності формування діелектричних шарів SiO₂ та Si₃N₄, зменшення механічних напружень у структурі Si_xGe_{1-x}/Si та покращення люмінесцентних властивостей наноструктур Si/SiO₂ [1]. Для пояснення цих ефектів в майже усіх відомих роботах (див. бібліографію в [1]) використовувалася модель АС розділення в приповерхневій області пластини імплантованих атомів домішки і міжвузлових атомів Si, які утворюються при йонній імплантації,

з видалення останніх з області імплантації. Вважається, що в результаті цього процесу в приповерхневій області пластини кремнію накопичуються вакансійні дефекти і відбувається частковий відпал радіаційних дефектів - активація імплантованих атомів домішки уже в процесі імплантації. Проте необхідно зауважити, що фізичні причини такого АС упорядкування радіаційних дефектів в залежності від експериментальних умов взагалі можуть суттєво відрізнятися і конкретні механізми потребують спеціального вивчення.

Подібна ситуація для незвичайної еволюції радіаційних дефектів в кристалах реалізується, зокрема, при високо енергетичній імплантації великих доз легуючих домішок, - в приповерхневій області кристала накопичується висока концентрація дефектів вакансійного типу, а при імплантації йонів газу можуть утворюватися і наповнені газом пори-“бульбашки”. При

цьому окремі мікроструктурні перетворення дефектно-домішкової структури (ДДС) кристала подібні до процесів, які відбуваються при акустичній кавітації в рідині [2], що дає певні підстави ввести поняття “квазікавітації”. Зовнішня схожість проявлення цих процесів в твердому тілі і рідині обумовлена, в першу чергу, локальним характером механічних напружень, локалізацією високих значень температури і тиску в середовищі при поширенні інтенсивних акустичних хвиль. При цьому їх фізична подібність на мікроскопічному рівні, на наш погляд, створює важливі перспективи використання методології та теоретичних моделей акустичної кавітації в рідині для опису окремих ефектів трансформації радіаційних дефектів в твердому тілі, що і є метою даної статті.

Розглянемо окремі сторони цих явищ більш детально.

1. Акустодинамічні ефекти в рідині (кавітація)

При поширенні інтенсивних АХ (інтенсивністю більше $1...2 \text{ Вт}\cdot\text{см}^{-2}$) в рідині під дією локального змінного тиску спостерігається ефект, що називається акустичною кавітацією (АК). Під АК розуміють процес швидкого утворення та анігіляції (лускання в зоні підвищеного тиску) газових або парових порожнин (бульбашок) в середовищі, яке піддається дії АХ [2].

Пульсуюче зростання бульбашки в акустичному полі внаслідок дифузії в її середину парогазової суміші може супроводжуватись коагуляцією окремих бульбашок під дією сил Б'єркнеса. Внаслідок неоднорідності акустичного поля в рідині, поступального переміщення і коагуляції бульбашки досягши певних розмірів, втративши сферичну форму стають нестабільними і при попаданні у зону підвищеного тиску лускаються. При цьому в середині бульбашки тиск газу досягає 10^9 Па , виникає ударна хвиля амплітудою до 10^8 Па , а локальна температура може становити 6000 К .

Таким чином відбувається трансформація в цілому середніх параметрів стану рідкого середовища у локальні надвеликі їх значення тиску і температури. Наслідком цього

є ціла низка фізичних ефектів, що можуть мати як негативні прояви (ерозія надтвердих матеріалів), так і корисні – нанодиспергування матеріалів, емульгування, інтенсифікація фізико-хімічних реакцій і процесів, сонолюмінесценція тощо. Очевидно, що досягнення в режимі кавітації одночасно надвисоких локальних тиску і температури відкриває широкі можливості для модифікації матеріалів різних сфер застосування, у тому числі в технології напівпровідників. В останньому випадку застосуємо внаслідок зовнішньої потреби термін “квазікавітації”.

2. Акустодинамічні ефекти при йонно-променевої імплантації і акустичному опроміненні пластин Si

Генерація дефектів та акустичних сигналів

Йони з енергією, що перевищує енергію зв'язку атома в ґратці, спрямовуються на поверхню кристала, упроваджуються і зупиняються на деякій глибині, створюючи при цьому масу дефектів. В процесі імплантації йонів (ЙІ) середніх мас в напівпровідниковий кристал Si вводяться стійкі радіаційні дефекти вакансійного типу, переважно дивакансії, і два типа міжвузельних комплексів. Ці дефекти, а також більш крупні вакансійні комплекси (тетравакансії) можуть нагромаджуватись в кристалі аж до критичної концентрації, яка відповідає переходу кремнію в аморфний стан. Особливі умови виникають і при імплантації високих доз йонів газів в Si або при радіаційній руйнації молекул при високо енергетичному опроміненні окисних шарів SiO_2 [3].

Розглядаючи вплив зовнішніх АХ на процеси дефектоперетворення при ЙІ необхідно враховувати і джерела внутрішнього акустичного поля [4]. Проникнення йона викликає в кристалі мікровибух, який породжує акустичну ударну хвилю (УХ). Характерна частота цих УХ – порядку оберненої тривалості збурення, пов'язаного або з локальним розігрівом, або з часом проникнення йона ($10^{-11}-10^{-12}$)с [3]. Зауважимо, що подібне виникнення нанорозмірних областей вибухового характеру енерговиділення є загальним явищем для різноманітних видів високоенергетичного опромінення

- радіаційне опромінення, йонна імплантація, лазерна обробка тощо. Експериментальним методом діагностики генерації акустичних сигналів є дослідження акустичної емісії, що дозволяє отримувати інформацію про розвиток нерівноважних структурних перетворень ДДС в об'ємі кристала акустичними методами.

Блістерування

Одним з найбільш показових проявлень ефекта «квазікавітації» вакансійних дефектів при ЙІ, є „блістерування”. Як було показано раніше [5], в процесі імплантації аргону в Si (енергія $E_A \approx 40$ кеВ, інтенсивність імплантації $I \approx 10^{14} \text{ см}^{-2} \text{ с}^{-1}$) на глибині R_p відбувається утворення газових бульбашок (діаметром ~ 200 нм та густиною $\sim 4.10^8 \text{ см}^{-2}$), які при досягненні дози ЙІ ($\Phi_{Ar} > 10^{17} \text{ см}^{-2}$) «лускаються», породжуючи УХ. При цьому спостерігається ефект блістерування (рис.1) - на поверхні кремнію утворюються кратери (діаметром ~ 500 нм, глибиною 100-150 нм), а на зворотній стороні пластини значно покращуються властивості шарів Si_xN_y .

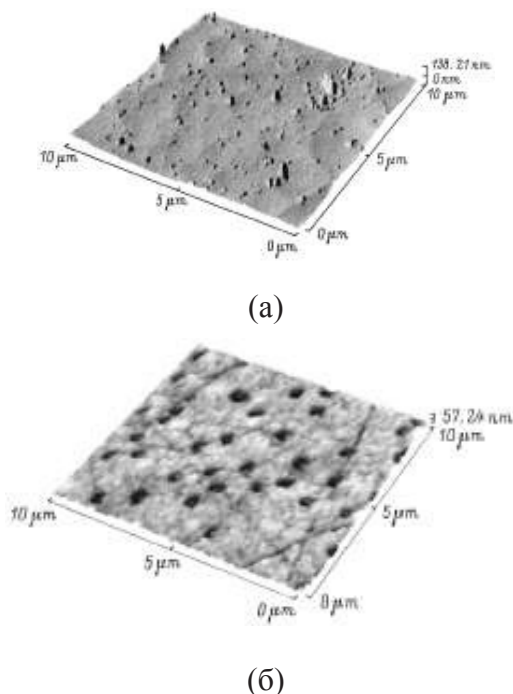


Рис. 1. Мікроскопічне зображення поверхні пластини Si, опроміненої йонами Ar з дозою $\Phi \approx 10^{16} \text{ см}^{-2}$ (а) та $\Phi \approx 10^{17} \text{ см}^{-2}$ (б) [4].

Відзначимо, що в умовах дії зовнішньої АХ спостерігається зменшення дозового порогу виникнення ефекту “блістерування”,

який проявляється в Si уже при $\Phi < 10^{16} \text{ см}^{-2}$ ($E_{Ar} \approx 150$ кеВ). Цікаво, що вплив АХ зростає при зниженні частоти АХ (з 7.4 МГц до 0.7 МГц) [6].

Збільшення товщини аморфизованого шару

АС посилення процесу аморфізації поверхні Si відбувається і при імплантації Ar^+ [7,8], причому при дозах Ar^+ менших ніж при „блістеруванні” ($\Phi_{Ar} = 10^{13} - 10^{15} \text{ см}^{-2}$; густина струму $6.10^{10} - 3.10^{12}$ йонів. см^{-2}). Дія АХ зводиться до переміщення внутрішньої межі розділу аморфної та кристалічної фаз до поверхні. При цьому аморфизований шар виникає вже безпосередньо на поверхні пластини та його товщина збільшується в ~ 1.3 рази. Використання in-situ АХ дозволяє понизити критичну дозу аморфізації та отримати суцільний аморфний шар при значно менших концентраціях введеної домішки. В цих роботах вперше було запропоновано модель, що включає АС комплексування вакансій та утворення вакансійно-аргонових «бульбашок». Такі процеси підсилюють перекривання неупорядкованих областей і стимулюють утворення суцільного аморфного шару на поверхні.

Прискорена релаксація механічних напружень в плівках SiGe/Si

Подібна ситуація реалізується і в іншому експерименті, а саме при імплантації йонів He^+ ($E_{He} \approx 50$ кеВ, $\Phi_{He} \approx 1.8 \times 10^{15} \text{ см}^{-2}$) в епітаксійні плівки $\text{Si}_{0.8}\text{Ge}_{0.2}/\text{Si}$ (товщина $d=100; 300$ нм) з наступним відпадом їх в атмосфері Ar ($650^\circ\text{C} - 850^\circ\text{C}$, 60 с) [9]. Було виявлено, що АХ дозволяє значно зменшити механічні напруження на границі SiGe/Si - ступінь релаксації напружень досягає $\approx 80\%$; відпал при 650°C стимулює подальшу їх релаксацію, а ступінь компенсації з АХ зростає. При цьому також зменшуються шорсткість поверхні (~ 0.6 нм) та густина проникаючих дислокацій (за результатами ПЕМ і селективного травлення).

Пороговий характер виникнення сигналів АЕ

Основними механізмами акустичної емісії (АЕ) при ЙІ є: а) елементарні акти генерації (розтягування) та рекомбінації (стиснення)

пар Френкеля; б) рух в каскаді вибитих з вузлів атомів матриці; в) теплові піки (характерна частота – порядку оберненої тривалості збурення 10^{-11} - 10^{-12} с); г) великомасштабні процеси генерації і переміщення дислокацій, виникнення тріщин, двійникування [4]. Проте за певних умов можуть виникати і нові механізми. Так, при дослідженні АЕ в процесі ІЙ Ag^+ (10^{13} до 10^{15} cm^{-2}) було виявлено немонотонний характер амплітудних залежностей АЕ від густини струму йонів Ag^+ $J_{\text{йон}}$ (інтенсивності імплантації) (рис. 2). Такий пороговий характер АЕ, причому при режимах імплантації, коли відбувається часткова аморфизація і можуть появлятися блістери на поверхні, свідчить про виникнення в цьому режимі ІЙ іншого більш ефективного джерела АЕ; а саме, як ми вважаємо, - “лускання вакансійно-газових бульбашок”. Цікаво, що зі збільшенням частоти АХ зростає ефективність АЕ та її максимум зміщується в область більших $J_{\text{йон}}$.

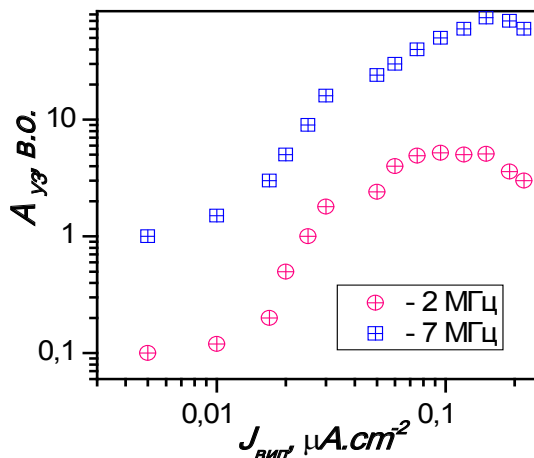


Рис. 2. Пороговий характер виникнення сигналів АЕ.

3. Порівняльні характеристики акустичної кавітації та йонної імплантації

В Таблиці 1 (верхня частина) приведені макроскопічні параметри середовища (води та кремнію, зокрема) характерні для АК та ІЙ, відповідно, при поширенні АХ [7,8,10]. Прослідковується майже повна їх ідентичність. В нижній частині таблиці порівнюються мікроскопічні характеристики - кавітаційна буль-

башка та область каскаду імплантованого високоенергетичного йона, які і визначають власне АК та ІЙ; теж спостерігається певна їх кореляція. Розміри кавітаційної бульбашки складають 1-100 мкм, а усереднена форма каскадної області для пучка важких йонів представляє собою еліпсоїд обертання з ефективним радіусом до ~ 10 нм. Максимальна температура каскадної області може перевищувати $5 \cdot 10^3$ К, а час її релаксації $\sim 10^{-11}$ с [11]. Проте найбільш важливою подібною характеристикою для АК та ІЙ є виникнення локальних областей вибухового характеру енерговиділення та поширення його в обох середовищах шляхом УХ. Максимальний тиск в каскадній області досягає 10^4 бар, а різке розширення її має вибуховий характер і породжує майже сферичну УХ з фронтальним тиском, який може бути і вище межі плинності матеріалу. Під дією цього тиску в результаті послідовних багатократних актів імплантації може відбуватися аномальне переміщення атомів, що є певною альтернативою дифузійним потокам. А різниця енергій парної взаємодії для атомів різного сорту може привести до корельованої їх перебудови, зокрема, розділення в об'ємі імплантованих та матричних атомів. Посилення цього ефекту, оскільки відстань пробігу сферичної УХ невелика (< 10 нм), можна досягнути додатковим енергетичним підживленням УХ [11]. Наприклад, за рахунок самовідновлення амплітуди УХ в результаті нелінійних ефектів взаємодії УХ з неоднорідностями середовища; або введенням в кристал при імплантації зовнішньої АХ, яка може стимулювати виникнення солітонного режиму поширення УХ без затухання.

4. Механізм АС „квазікавітації” вакансійних дефектів

Суть ефекту “квазікавітації” вакансійних дефектів, названому нами за аналогією з процесами акустичної кавітації у рідині [2], полягає в активному впливі інтенсивних АХ на формування і релаксацію нерівноважної структури радіаційних дефектів. В залежності від умов опромінення кристала розглядається два випадки.

Таблиця 1

<i>Основні фізичні параметри середовища та АХ, при яких реалізується</i>			
<i>Акустична кавітація та СЛ</i>		<i>ЙІ</i>	
<i>Температура води</i>	$<65^{\circ}\text{C}$	Температура підкладки	$<65^{\circ}\text{C}$
<i>Тиск води</i>	>15 <i>мм.рт.ст</i>	Тиск в камері	<15 мм.рт.ст
<i>Частота АХ</i>	$(20*10^3-10^6)\text{Гц}$	Частота УЗ хвилі	$(10^6-10^7)\text{Гц}$
<i>Потужність УЗ хвилі</i>	$>0.5 \text{ Вт.см}^{-2}$	Потужність УЗ хвилі	$>0.5 \text{ Вт.см}^{-2}$
<i>Розрахункові характеристики</i>			
<i>кавітаційної бульбашки</i>		<i>каскадної зони</i>	
<i>Розмір бульбашки</i>	<0.5 мкм	Глибина проникнення йона - <1 мкм Радіус каскаду ($E>10\text{KeV}$) - 5 нм	
<i>Температура</i>	$3000-5000\text{K}$ $>10^5\text{K}$	Температура	$<6000\text{K}$
<i>Тиск</i>	1000 ат $>10^9 \text{ ат}$	Тиск	1000 ат $>10^9 \text{ ат}$
<i>Тривалість СЛ спалаху</i>	$(10^{11}-10^6) \text{ с}$	Тривалість розвитку каскаду	$(10^{12} - 10^{11}) \text{ с}$
<i>Ударна хвиля</i>		Ударна пружна хвиля (профіль)	ширина ~ 1 нм; довжина пробігу <100 нм

Перший виникає при високо енергетичній імплантації легуючих домішок; у кристалі може накопичуватися велика концентрація дефектів вакансійного типу, які утворюють *вакансійні кластери*. Другий – при імплантації високої дози йонів газу, які в результаті преципітації утворюють в кристалі *газові бульбашки*; центрами їх зародження теж є вакансійні комплекси. Останній випадок включає і варіант радіаційної руйнації газомістких молекул твердого середовища (SiO_2 , GeO_2 тощо), що містяться в твердому тілі. В процесі подальшої ЙІ, особливо при поширенні в кристалі інтенсивної АХ від зовнішнього джерела, – можуть реалізуватися умови для специфічної еволюції імплантаційних дефектів. На першій стадії появляються зародки і відбувається початкове формування “бульбашок” (для узагальнення будемо називати “бульбашками” і скупчення газових атомів, і вакансійні кластери – «анти-бульбашки»), що абсорбують частину найближчих вакансій (або/і, в тому числі, оточуючих домішкових атомів). Переважає АС

процес подібний процесу «дозрівання Освальда», який супроводжується інтенсивним обміном компонентами між „малими” (до 5-8 нм) та „великими” (до 20 нм) “бульбашками”; малі (близькі до критичних розмірів) – скорочуються, а великі, в результаті дифузійних процесів, – збільшуються. Наступна стадія АС „квазі-кавітації” реалізується при досягненні “бульбашкою” певних, відносно великих розмірів, вона стає нестійкою і, попадаючи в поле підвищеного (для «антибульбашки” - розрідженого) акустичного тиску, втрачає стабільність та лускається (захлипується), породжуючи в середовищі УХ з високим тиском. В подальшому, в результаті ефекту деформаційного втягування домішкової атмосфери з оточення пульсуючого вакансійного кластера можлива АС трансформація структури вакансійних дефектів – з вакансійного до міжвузельного типу, з утворенням при цьому в кристалі дислокаційних петель.

Отже в результаті ЙІ в кристалі виникає метастабільний стан ДДС і роль зовнішньої

АХ (навіть не дуже інтенсивної) зводиться до запуску спускового механізму додаткового переходу ДДС в стабільний стан. Звичайно, інші дифузійні перебудовні процеси як для легованих атомів, так і власних радіаційних дефектів – відбуваються незалежно. В середньому по кристалу окремі зміни направлених дифузійних потоків домішкових атомів визначаються лише змінами їх коефіцієнтів дифузії як результат додаткових коливних напружень зовнішньої АХ, що є незначними [12]. В той же час абсолютно інша ситуація реалізується локально поблизу пульсуючих вакансійних комплексів, де виникають надзвичайно великі градієнти механічних напружень $\partial\sigma / \partial x$ та в областях кристала під час проходження УХ з дуже вузьким профілем (див. Табл 1.) [13]. В цих умовах визначальними стають ефекти нелінійної взаємодії гармонічної АХ з внутрішніми деформаційними полями кристала. Наприклад, генерація ВЧ імпульсів з частотою порядку величини оберненого часу проходження АХ через неоднорідність (близько частоти фононів) і включення фононних резонансних механізмів дії на дифузію через підвищення заселеності домішкових квантових коливальних рівнів та відповідне зростання вірогідності міграції атома на інші рівні [14].

Цікаво, що при поширенні УХ в середовищі, яке знаходиться не в абсолютному мінімумі енергії, а лише у деякому проміжному метастабільному, який відділений від глобального енергетичним бар'єром, для подолання цього бар'єра достатньо передачі акустичної енергії ззовні. Роль такого спускового механізму може зіграти саме АХ, якщо швидкість дисипації енергії УХ при поширенні не перевищує величину енергії, що виділяється на фронті УХ.

Висновки

1. Розглянуто динамічні процеси в кремнії при йонно-променевої імплантації (*генерація дефектів; генерація акустичних сигналів*) та в рідині (*кавітація*). Зроблено порівняння ефектів від дії інтенсивних АХ у рідині та у кристалі.

2. На експериментальних прикладах (*збільшення аморфізованого шару Si; релакса-*

ція напружень в SiGe/Si) проілюстровано прояв „кавітаційного” механізму.

3. Запропонована модель АС „квазікавітації” вакансійних дефектів в напівпровідниках при ЙІ в умовах дії АХ.

Список використаної літератури

[1]. Machulin V. F., Lepikh Ya. I., Olikh Ya. M., Romaniuk B. M. Akustoelektronni ta akustoiionni tekhnologii // Visnyk NAN Ukrainy. – 2007. - No 5. S. 3-8 (*in Ukrainian*).

[2]. Lepikh Ya. I. Prykladna akustyka v medytsyni. Odesa: Astroprint, 2005. - 208 s. (*in Ukrainian*).

[3]. Chelyadinskij A. R., Komarov F. F. Defektno-primesnaya inzheneriya v implantirovannom kremnii // UFN. – 2003. - T. 173. - № 8. - S. 813-846 (*in Russian*).

[4]. Olikh Ya. M. Pro mozhlyvosti akustokerovanoi inzhenerii defektiv u „nerivnovazhnykh napivprovodnykakh” (ch. 1. Mekhanizmy). Novi tekhnologii No 2 (20) -2008. Naukovyi visnyk KUEITU. – S. 188-193 (*in Ukrainian*).

[5]. Demidov E. S., Karzanov V. V., Lobanov D. A., Markov K. A., Sdobnyakov V. V. Dal'nodejstvuyushchee vliyanie oblucheniya ionami argona na sintez stekhiometricheskoy fazy nitrida kremniya v cloyah Si_xN_y sformirovannykh ionnoy implantaciej //FTP. 2001, T. 35,– V. 1. – S. 21. (*in Russian*).

[6]. Romanjuk B., Kruger D., Melnik V., Popov V., Olikh Ya., Soroka V., Oberemok O. Ultrasound effect on radiation damages in boron implanted silicon. //Semiconductor Physics, Quantum Electronics & Optoelectronics. 2000, V. 3, N1, P. 15-18.

[7]. Romanyuk B., Krüger D., Melnik V., Popov V., Borshchagovskiy E., Olikh Ya., Soroka V. Mekhanisms of silicon amorphization at the US action during Ion Implantation. // Ukrainian Journal of Physics, 2001, Vol. 46, No2, P. 191-195.

[8]. Krüger D., Romanyuk B., Melnik V., Olikh Ja., Kurps R. Influence of in-situ US treatment during ion implantation on amorphization and junction formation in silicon// J. Vacuum Sci. & Technology. - 2002. - B20. -

№ 4. – P. 1448-1451.

[9]. Romanyuk B., Kladko V., Olikh Ya., et al. Enhanced relaxation of SiGe layers by He implantation supported by in situ us treatments// Mater. Sci. in Semicond. Processing, 8 (4), pp. 171-175, (2005).

[10]. Margulis M. A. Sonolyuminescenciya. UFN. 2000. T. 170, №3. S. 263 (*in Russian*).

[11]. Ovchinnikov V. V. UFN. 2008. T. 178, №9, S. 991-1001 (*in Russian*).

[12]. Bakaj A. S., Lozinskij I. P. Vliyanie zvuka na diffuziyu atomov primesi vnedreniya

v tverdom tele // FTT. –1986. –T. 28. –№8. –S. 2455–2457 (*in Russian*).

[13]. Titov V. V. Rol' mekhanicheskikh napryazhenij pri legirovanii materialov s pomoshch'yu ionnyh puchkov. Preprint IAEH-3774/11, 1983 (*in Russian*).

[14]. Pavlovich V. N. Enhanced diffusion of impurities and defect in crystal in conditions of ultrasonic and radiative excitation of crystal lattice // Phys. Stat. Sol. (b). – 1993. – Vol. 180, N1. – P. 97-105.

Стаття надійшла до редакції 22.06.2017 р.

UDC 534.29

DOI <http://dx.doi.org/10.18524/1815-7459.2017.2.106604>

ACOUSTOSTIMULATED “QUASI-CAVITATION” OF VACANCY DEFECTS IN SEMICONDUCTORS AT THEIR HIGH-ENERGETIC IRRADIATION

Ya. M. Olikh¹, Ya. I. Lepikh²

¹ V. E. Lashkaryev Institute of semiconductor physics of NAS of Ukraine;

² Interdepartmental scientific-educational physics and technical centre of MES and NAS of Ukraine
e-mail: ndl_lepikh@onu.edu.ua

Summary

The article is devoted to the investigation of physical processes in semiconductor structures under the action of high-energy irradiation at Ar⁺, N⁺ and O⁺ ions implantation at simultaneous acoustic waves irradiation. A number of effects caused by an acoustic field stimulation has been revealed.

The explanation to the microstructured transformation of crystal defective – impurity structure from the positions of similarity of processes which occur at cavitation in liquids is given. The term “quasi-cavitation” which by the analogy is physically based on the effect of local high concentration of energy (pressure, temperatures and mechanical stress), which essentially effects on processes in semiconductors at ionic - beam implantation is entered.

Keywords: ionic implantation, acoustic waves, “quasi-cavitation”, semiconductors, defective - impurity structures

АКУСТОСТИМУЛЬОВАНА “КВАЗІКАВІТАЦІЯ” ВАКАНСІЙНИХ ДЕФЕКТІВ У НАПІВПРОВІДНИКАХ ПРИ ЇХ ВИСОКОЕНЕРГЕТИЧНОМУ ОПРОМІНЕННІ

Я. М. Оліх¹, Я. І. Лепіх²

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

² Міжвідомчий науково-навчальний фізико-технічний центр МОН і НАН України при
Одеському національному університеті імені І. І. Мечникова
e-mail: ndl_lepikh@onu.edu.ua

Реферат

Стаття присвячена дослідженню фізичних процесів у напівпровідникових структурах під дією високоенергетичного опромінення при імплантації іонів Ag^+ , N^+ і O^+ при одночасному опроміненні акустичними хвилями. Виявлено ряд ефектів обумовлених стимуляцією акустичним полем

Дається пояснення мікроструктурним перетворенням дефектно-домішкової структури кристала з позицій подібності процесів, що відбуваються при кавітації у рідинах. Вводиться термін “квазікавітація”, що за аналогією фізично базується на ефекті локальної високої концентрації енергії (тиску, температури і механічних напружень), яка суттєво впливає на процеси в напівпровідниках при іонно-променевої імплантації.

Ключові слова: іонна імплантація, акустичні хвилі, «квазікавітація», напівпровідники, дефектно-домішкові структури