

**Ужгородського університету**

**Uzhhorod University SCIENTIFIC HERALD**

**Серія**  
**Фізика**

**Series**  
**Physics**

**Випуск**  
**Issue** **14**

**2003**

Науковий вісник Ужгородського університету. Серія Фізика. Випуск 14. — 2003

Міністерство освіти і науки України  
Ужгородський національний університет

**НАУКОВИЙ ВІСНИК  
УЖГОРОДСЬКОГО УНІВЕРСИТЕТУ  
Uzhhorod University SCIENTIFIC HERALD**

**Серія  
Фізика**

**Series  
Physics**

**Випуск 14**  
Issue

**2003**

Журнал засновано у 1997 році та видається за рішенням  
Редакційно-видавничої ради Ужгородського державного  
університету

Ужгород – 2003

**Засновником журналу "Науковий вісник Ужгородського університету, Серія Фізика" є Ужгородський національний університет, фізичний факультет.**

**Редакційна колегія:**

*Професори, д. ф.-м. н. І. Небола (відповідальний редактор),  
І. Шафраньош (заступник відповідального редактора), Д. Берча,  
Д. Блецькан, О. Герзанич, В. Лазур, О. Кикинеші, В. Мікла, С. Поп,  
І. Хіміч, Л. Шимон (Ужгородський національний університет),  
член-кореспондент НАН України О. Шпенник,  
д. ф.-м. н. А. Завілопуло (заступник відповідального редактора),  
д. ф.-м. н. В. Маслюк, М. Гайсак (ІЕФ НАН України, м. Ужгород)*

*Відповідальний за випуск д. ф.-м. н. А. Завілопуло*

**Редакція:**

*Ю. Ажнюк, Г. Гомонай, Т. Попик, Л. Романова, В. Фейер*

**Тематика журналу "Науковий вісник Ужгородського університету, Серія Фізика" охоплює:**

*фізику конденсованого середовища,  
ядерну фізику,  
атомну та молекулярну фізику,  
теорію поля та фізику елементарних частинок,  
астрофізику,  
фізичну електроніку,  
прикладну фізику,  
міждисциплінарну фізику  
та суміжні ділянки науки, техніки, історії фізики,  
хроніку, персоналії та бібліографію*

**Адреса редакції:**

*Ужгород 88000, вул. Волошина, 54,  
Фізичний факультет УжНУ  
Тел. (факс): (03122) 3-23-39  
e-mail: [inpcss@iss.univ.uzhgorod.ua](mailto:inpcss@iss.univ.uzhgorod.ua)*

© Ужгородський національний університет, 2003  
© Інститут електронної фізики НАН України, 2003

## ЗМІСТ

<b>Т.Ю.ПОПИК, В.М.ФЕЙЕР</b> Зондування різномодифікованих поверхонь Ge(111) повільними електронами	11
<b>А.А.РОВЕНЧАК</b> Міжатомні потенціали розрідженої багатобозонної системи	16
<b>L.D.DEMCHENKO</b> Diffusion layers formation under deformed iron alloys surface saturation by nitrogen	20
<b>В.І.ЛЯМАЄВ, В.М.ГОЛОВЕЙ</b> Дослідження дозових і енергетичних залежностей виходу термостимульованої люмінесценції монокристалів $\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7:\text{Mn}$ та $\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7:\text{Ag}$	27
<b>О.М.СЛЬОТОВ</b> Рентгенодифракційні дослідження структурної досконалості кристалів $\text{ZnSe}<\text{Mg}>$	32
<b>L.G.LEVCHUK, P.V.SOROKIN, D.V.SOROKA, S.S.ZUB</b> Elements of the grid middleware at the KIPT CMS Linux cluster	36
<b>Р.М.ПЛЕКАН, В.Ю.ПОЙДА, І.В.ХІМІЧ</b> Теоретичний опис кореляцій нуклонів парно-парних атомних ядер	40
<b>І.В.РОГОЗІН, О.В.МАРАХОВСЬКИЙ</b> Термодинамічний і кінетичний аналіз власних дефектів у нітриді галію	46
<b>О.І.ГОМОНАЙ, О.І.ПЛЕКАН</b> Прояв двофотонних резонансів при трифотонній іонізації атома самарію	52
<b>Є.В.ОВЧАРЕНКО</b> Збудження інтеркомбінаційної лінії $\text{In}^+$ при електрон-іонних зіткненнях	57
<b>С.С.ПАВЛОВ</b> Структура локальних станів у міжкристалітних прошарках плівок сульфідів свинцю	62
<b>О.В.КНІГІНЦЬКИЙ</b> Обчислення параметрів потенціалів міжатомної взаємодії кубічних ґраток у довгохвильовому наближенні	67
<b>Р.Б.РІЙВЕС</b> Пошук імпульсної генерації на самообмежених переходах атома індію	73
<b>Є.А.СВІТЛИЧНИЙ</b> Імпульсний лазер на самообмежених переходах іонізованого кальцію	78

<b>О.М.ВОДІН, І.В.УШАКОВ</b>	<b>83</b>
Ізовекторні <i>l</i> -заборонені магнітні дипольні переходи в ядрі $^{31}\text{P}$	
<b>І.О.ЗАВІЗІОН, Р.Б.РІЙВЕС, Є.А.СВІТЛИЧНИЙ, Ю.В.ЖМЕНЯК, В.А.КЕЛЬМАН, Ю.О.ШПЕНИК</b>	<b>91</b>
Емісійні властивості імпульсного розряду в суміші Xe-NaCl	
<b>В.М.КАМЕНЩИКОВ, В.О.СТЕФАНОВИЧ, Л.М.СУСЛІКОВ</b>	<b>95</b>
Оптичні фонони в кристалах $\text{A}_2\text{B}^{\text{VI}}\text{C}^{\text{VII}}_6$	
<b>Т.С.КУЛАЙ, В.М.ЛЕСІВЦІВ</b>	<b>100</b>
Фононні спектри $\text{CdI}_2$ в далекій інфрачервоній області	
<b>Ю.Л.БЛАЖИЄВСЬКИЙ</b>	<b>105</b>
Вільна енергія системи іонів у пористому середовищі	
<b>Т.Д.МЕЛЬНИЧЕНКО</b>	<b>109</b>
Параметри теорії флуктуаційного вільного об'єму в стеклах системи Ge-As-Se	
<b>Д.Ф.ТІМОХОВ</b>	<b>113</b>
Підвищення квантового виходу фотолюмінесценції шарів поруватого кремнію оптимізацією параметрів анодизації	
<b>В.В.КУЗЬМА, О.М.КОНОПЛЬОВ, В.О.МАСТЮГІН, Г.Ю.ПОДГОРЕЦЬКА, В.Г.ДРОБНИЧ</b>	<b>119</b>
Характерні швидкості збуджених атомів Na, розпорощених іонами $\text{K}^+$ з поверхні монокристала NaCl	
<b>Ю.ФЕКЕТЕ, І.ГАЙСАК, В.МОРОХОВИЧ</b>	<b>122</b>
Електрична поляризованість гадронів	
<b>А.П.ЯЛЬЧ, МАЛЕК АЛІ</b>	<b>128</b>
Електрон-фотонна емісія сапфіру і рубіну	
<b>М.І.ЛІНТУР, М.В.ПРИХОДЬКО, Л.М.МАРКОВИЧ, Н.АЛЬ-ДУРГАМ, С.С.ПОП</b>	<b>134</b>
Свічення поверхні чистого і легованого домішками кремнію під дією електронів	
<b>В.М.КРАСИЛИНЕЦЬ, Б.М.ГУНДА, М.М.ЕРДЕВДІ, А.М.СОЛОМОН, І.І.ЧИЧУРА</b>	<b>138</b>
Дослідження катодолюмінесценції твердих тіл на модернізованій експериментальній установці "Атом"	
<b>О.С.КУШНІР, Р.Я.ШОПА</b>	<b>142</b>
Аналіз критичної поведінки гіротропії при фазових переходах у кристалах	
<b>М.І.РОСПОПА</b>	<b>149</b>
Вплив опромінення на оптичні та електричні властивості стекол систем $\text{HgSe-SnSe}_2\text{-Ga}_2\text{Se}_3$ та $\text{ZnSe-GeSe}_2\text{-Ga}_2\text{Se}_3$	

<b>О.В.ДРОБНИЧ</b>	<b>154</b>
Моделювання методом Монте-Карло фазової поведінки мікрокристалів типу $\text{Sn}_2\text{P}_2\text{S}_6$	
<b>М.В.ПРИХОДЬКО</b>	<b>159</b>
Електрон-фотонна емісія лужно-галогенних кристалів	
<b>Б.В.БУДНИЙ</b>	<b>164</b>
Екранування електромагнітної взаємодії у слабoreлятивістичному виродженому електронному газі	
<b>L.G.LEVCHUK, D.V.SOROKA, P.V.SOROKIN, S.S.ZUB</b>	<b>171</b>
Results of participation of NSC KIPT in the CERN/CMS Monte-Carlo event production	
<b>А.А.ЩЕРБАКОВ</b>	<b>175</b>
Новий доданок у пружній енергії і його вплив на фазові переходи	
<b>М.М.СТЕЦЬ, М.В.СТЕЦЬ</b>	<b>179</b>
Гамма-спектрометрія закарпатських цеолітів	
<b>П.АСТАФ'ЄВ, О.АНАНЬІНА</b>	<b>188</b>
Взаємодія фосфору з атомарно-чистими поверхнями Ge(100)	
<b>V.YU.LAZUR, M.V.KHOMA, R.K.JANEV, M.I.KARBOVANETS</b>	<b>195</b>
Three Coulomb centre problem and its application to the theory of ion-molecule collisions	
<b>Ю.Ю.ЖИГУЦЬ, Ю.Ю.СКИБА, Я.П.ЛЕГЕТА</b>	<b>201</b>
Метод обчислення характеру фазових діаграм стану сплавів	

# СВІЧЕННЯ ПОВЕРХНІ ЧИСТОГО І ЛЕГОВАНОГО ДОМІШКАМИ КРЕМНІЮ ПІД ДІЄЮ ЕЛЕКТРОНІВ

М.І.Лінтур, М.В.Приходько, Л.М.Маркович,  
Н.Аль-Дургам, С.С.Поп

Ужгородський національний університет,  
кафедра квантової електроніки,  
вул. Волошина, 54, Ужгород, 88000  
e-mail: qel@univ.uzhgorod.ua

Виявлено особливості в спектрах свічення поверхонь чистого і легovanого іонами  $B^+$ ,  $P^+$  і  $As^+$  кремнію при бомбардуванні їх пучком електронів з енергією 800 еВ. Спектри досліджено в діапазоні довжин хвиль 200-800 нм. У всіх спектрах виявлено широку смугу з максимумом поблизу 280 нм, а також характеристичне випромінювання десорбованих з поверхні у збудженому стані атомів водню і радикала ОН. Виміряно залежність інтенсивності молекулярної смуги ОН від енергії бомбардуючих електронів, яка носить резонансний характер і має поріг поблизу 35 еВ.

## Вступ

Широке застосування кремнію в сучасних мікро- і нанотехнологіях зумовлює інтерес до дослідження його мікроскопічних характеристик, зокрема електронної структури поверхні. Остання залежить від сорту імпантованих частинок і адсорбованих на поверхні кремнію атомів і молекул залишкової атмосфери. Використовуються різні сучасні методи для таких досліджень [1, 2]. У даній роботі методом електрон-фотонної спектроскопії (ЕФС) досліджено емісію оптичного випромінювання в діапазоні 200-800 нм з метою виявлення особливостей характеристик електрон-фотонної емісії з поверхні. В ролі досліджуваних зразків вибрано кремній високої чистоти, а також кремній легований іонами  $P^+$ ,  $B^+$ ,  $As^+$ , тобто матеріали електронної техніки. Зразки монокристалічного кремнію леговано іонами бору і фосфору з однаковою дозою  $D=100$  мкКл при енергії іонів 200 кеВ. Доза легування кремнію миш'яком становила 500 мкКл при енергії іонів 80 кеВ.

## Техніка експерименту

Дослідження виконано на надвисоковокуумному електрон-фотонному спектрометрі [3]. Залишковий тиск атмосферних газів у камері взаємодії становив  $\sim 10^{-9}$  Тор. Поверхню кремнію бомбардували пучком електронів з енергією 800 еВ і густиною струму 250 мкА/см<sup>2</sup> під кутом 15° відносно нормалі до поверхні. Кут спостереження випромінювання був близький до нормалі. Схему експерименту показано на рис.1.

Пучок електронів, сформований електронною гарматою 6, спрямовується на поверхню досліджуваного зразка. Випромінювання поверхні, на яку потрапляє пучок електронів, виводять із вакуумної камери через віконце з сапфіру 7. За допомогою конденсора 8 випромінювання фокусується на вхідну щілину монохроматора МДР-12 (9). Виділене монохроматором випромінювання детектується фотоелектронним помножувачем ФЭУ-106 (11). Сигнал з фотопомножувача після підсилювача-дискримінатора 12 реєструється в режимі лічби фотоелектронів

частотоміром або за допомогою електронного потенціометра КСП-4 (13) записується досліджуваний спектр.

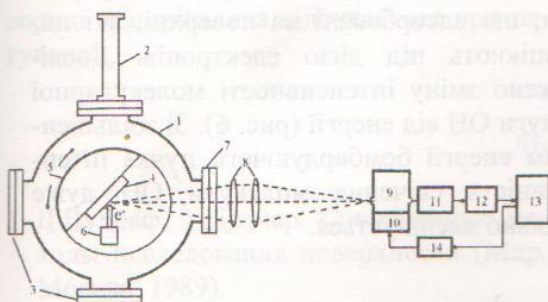


Рис. 1. Схема експерименту.

1 – робоча камера; 2 – шток шлюзового пристрою; 3 – допоміжні фланці; 4 – досліджуваний зразок; 5 – робочий стіл; 6 – електронна гармата; 7 – сапфірове віконце; 8 – конденсор; 9 – монохроматор; 10 – кроковий двигун обертання дифракційної ґратки; 11 – фотопомножувач; 12 – підсилювач-дискримінатор; 13 – потенціометр; 14 – блок управління кроковим двигуном.

### Результати та їх обговорення

Спектрограми оптичного випромінювання, що виникає під дією електронів з енергією 800 еВ на чисту і леговану іонами фосфору, бору і миш'яку поверхню монокристалу кремнію, представлено на рис. 2–5.

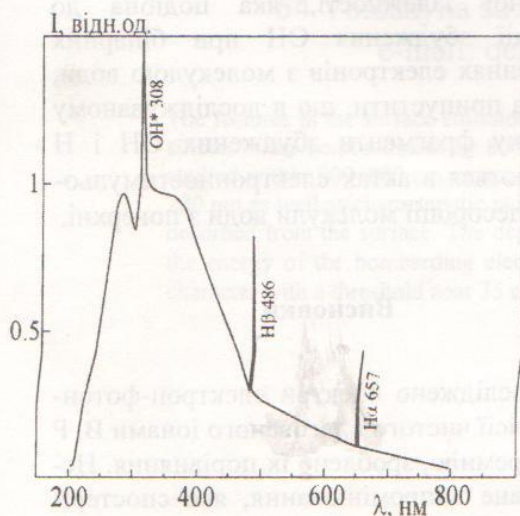


Рис.2. Електрон-фотонна емісія чистого кремнію.

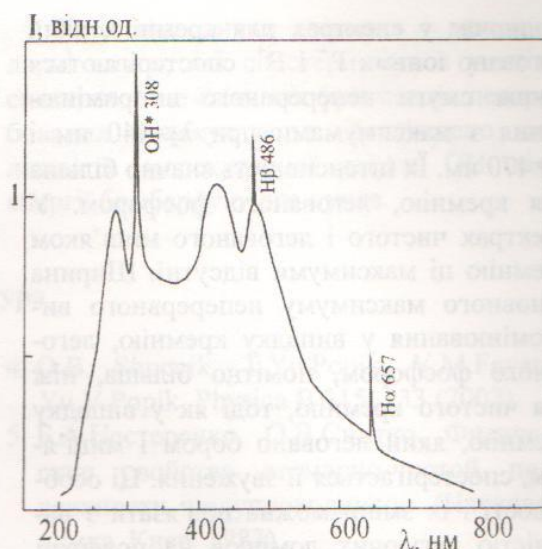


Рис.3. Електрон-фотонна емісія кремнію, легованого фосфором.

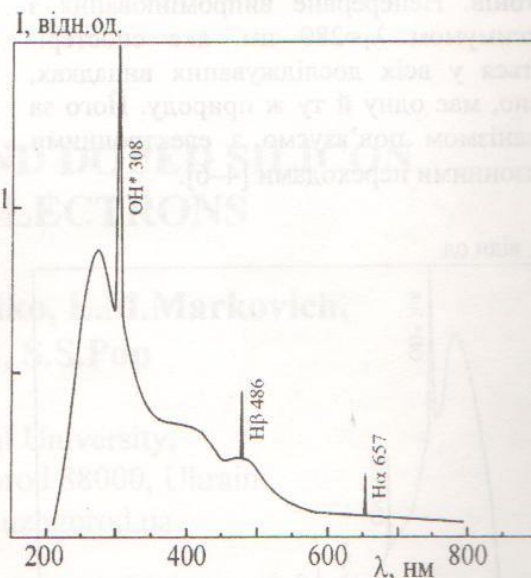


Рис.4. Електрон-фотонна емісія кремнію, легованого бором.

У досліджених спектрах виявлено такі види випромінювання: неперервне випромінювання в широкому діапазоні довжин хвиль; молекулярні смуги OH і спектральні лінії водню H $\alpha$ , H $\beta$  і H $\gamma$ . У випадку кремнію, який леговано іонами As<sup>+</sup>, виявлено також молекулярну смугу CN. У всіх досліджених спектрах спостерігається основний максимум неперервного випромінювання при довжині хвилі  $\lambda_1=280$  нм.



Водночас у спектрах для кремнію, який леговано іонами P<sup>+</sup> і B<sup>+</sup>, спостерігаються також смуги неперервного випромінювання з максимумами при  $\lambda_2=440$  нм і  $\lambda_3=470$  нм. Їх інтенсивність значно більша для кремнію, легованого фосфором. У спектрах чистого і легованого миш'яком кремнію ці максимуми відсутні. Ширина основного максимуму неперервного випромінювання у випадку кремнію, легованого фосфором, помітно більша, ніж для чистого кремнію, тоді як у випадку кремнію, який леговано бором і миш'яком, спостерігається її звуження. Ці особливості і їх зміни можна пов'язати з наявністю легуючих домішок на поверхні кремнію, які змінюють електронну енергетичну структуру поверхні, а, отже, і пов'язане з її збудженням випромінювання фотонів. Неперервне випромінювання з максимумом  $\lambda_1=280$  нм, яке спостерігається у всіх досліджуваних випадках, певно, має одну й ту ж природу. Його за механізмом пов'язуємо з електронними міжзонними переходами [4–6].

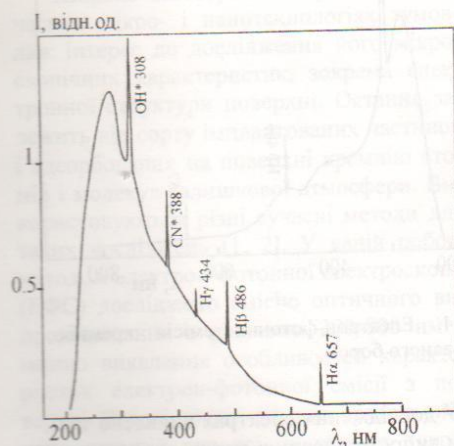


Рис.5. Електрон-фотонна емісія кремнію, легованого миш'яком.

З отриманих результатів також впливає, що поверхня кремнію, навіть в умовах надвисокого вакууму, активно покривається частинками залишкового газу

в робочій камері. Це впливає з наявності у всіх спектрах молекулярної смуги OH і характеристичних ліній водню H<sub>α</sub> і H<sub>β</sub>. Вони, певно, є фрагментами молекул води, що адсорбовані на поверхні, які дисоціюють під дією електронів. Досліджено зміну інтенсивності молекулярної смуги OH від енергії (рис. 6). Зі збільшенням енергії бомбардуючого пучка інтенсивність свічення молекули OH дуже сильно зменшується.

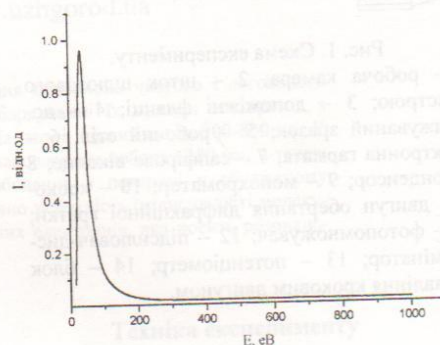


Рис.6. Залежність інтенсивності OH від енергії бомбардуючого пучка.

З отриманого результату бачимо, що збудження молекулярної смуги OH максимальне при енергії бомбардуючого пучка близько 35 еВ. За характером цієї енергетичної залежності, яка подібна до функції збудження OH при бінарних зіткненнях електронів з молекулою води, можна припустити, що в досліджуваному випадку фрагменти збуджених OH і H з'являються в актах електронностимульованої десорбції молекули води з поверхні.

### Висновки

Досліджено спектри електрон-фотонної емісії чистого і легованого іонами B, P і As кремнію, зроблено їх порівняння. Неперервне випромінювання, яке спостерігається в спектрах свічення всіх досліджуваних зразків, виникає в результаті

електронних міжзонних переходів. Виявлені зміни у спектрах випромінювання легованих зразків є результатом зміни електронної енергетичної структури поверхні кремнію, яка відбувається при легуванні.

Характеристичне свічення і молекулярні смуги, які спостерігаються у всіх спектрах, – це свічення фрагментів десорбованих молекул води. Досліджено залежність молекулярної смуги ОН від енергії бомбардуючого пучка.

#### Література

1. Д.Вудраф, Т.Делчер. Современные методы исследования поверхности (Мир, Москва, 1989).
2. С.С.Поп, І.С.Шароді. Фізична електроніка (Євросвіт, Львів, 2001).
3. М.І.Лінтур, Л.М.Маркович, В.О.Масютюгін, М.В.Приходько, І.С.Шароді, Наук. вісник Ужг. унів., сер. фіз. 10, 191 (2001).
4. О.В. Shpenik, Т.Ю.Ропік, V.M.Feyer, Yu.V.Popik, Physica B 315, 133 (2002).
5. Б.А.Нестеренко, О.В.Снитко. Физические свойства атомарно-чистой поверхности полупроводников (Наукова думка, Киев, 1983)
6. Г.П.Пека, Физические явления на поверхности полупроводников, (Вища школа, Киев, 1984).

## EMISSION OF PURE AND DOPED SILICON EXPOSED TO ELECTRONS

**M.I.Lintur, M.V.Prikhodko, L.M.Markovich,  
N.Al Durham, S.S.Pop**

Uzhhorod National University,  
54 Voloshyna str., Uzhhorod 88000, Ukraine  
e-mail: qel@univ.uzhgorod.ua

The features in the surface emission spectra of pure and B<sup>+</sup>-, P<sup>+</sup>- and As<sup>+</sup>-ion doped silicon under bombardment by 800-eV electron beam are revealed. The spectra are studied within 200–800 nm range. All the spectra exhibit a broad band centred near 280 nm as well as characteristic radiation of excited hydrogen atoms and OH radical desorbed from the surface. The dependence of the molecular OH band intensity on the energy of the bombarding electrons is measured and shown to be of resonant character with a threshold near 35 eV.