

УДК 537.533.2: 535.14: 546.28
PACS number: 07.65.Gj

СПЕКТРАЛЬНИЙ СКЛАД ТА ВЛАСТИВОСТІ ВИМІРЮВАННЯ, ЯКЕ ВИНИКАЄ ПІД ЧАС БОМБАРДУВАННЯ ЕЛЕКТРОНАМИ ПОВЕРХНІ ЧИСТОГО І ЛЕГОВАНОГО КРЕМНІЮ

М. Лінтур, М. Приходько, Л. Маркович, С. Поп

*Ужгородський національний університет,
вул. Волошина, 54, 88000 Ужгород, Україна
e-mail: QEL@univ.uzhgorod.ua*

Виявлено особливості в спектрах свічення поверхонь чистого і легovanого іонами B^+ , P^+ і As^+ кремнію під час бомбардування їх пучком електронів з енергією 800 еВ. Спектри досліджено в діапазоні довжин хвиль 200–800 нм. У всіх спектрах виявлено широку смугу з максимумом близько 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 близько 35 еВ.

Ключові слова: оптичне випромінювання, кремній, електрон-фотонна емісія.

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

Пучок електронів, сформований електронною гарматою (6), спрямовується на поверхню досліджуваного зразка. Випромінювання, що наявне на і поблизу поверхні, куди 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.

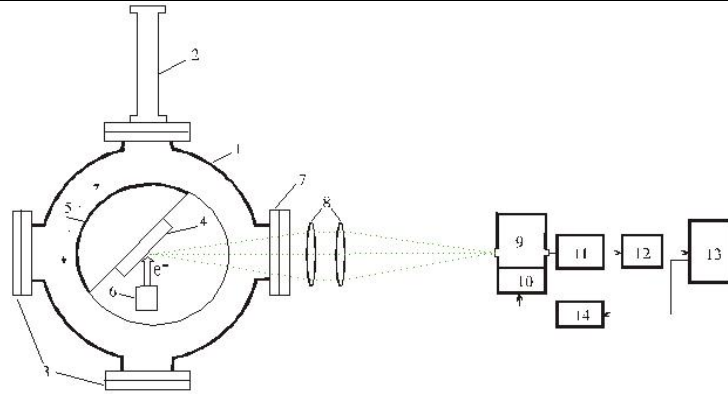


Рис. 1. Схема експерименту: 1 – робоча камера; 2 – шток шлюзового пристрою; 3 – допоміжні фланці; 4 – досліджуваний зразок; 5 – робочий стіл; 6 – електронна гармата; 7 – сапфірове віконце; 8 – конденсор; 9 – монохроматор; 10 – кроковий двигун обертання дифракційної ґратки; 11 – фотопомножувач; 12 – підсилювач-дискримінатор;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

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

У досліджених спектрах виявлено такі види випромінювання: неперервне випромінювання в широкому діапазоні довжин хвиль; молекулярні смуги ОН і спектральні лінії водню H_{α} , H_{β} і H_{γ} . У випадку кремнію, який леговано іонами As^+ , 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^+ і B^+ , простежено також смуги неперервного випромінювання з максимумами при $\lambda_2=440$ 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 спостерігається її звуження у випадку кремнію, який леговано бором і миш'яком. Ці особливості та їхні зміни можна пов'язати з наявністю легованих 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 простежене у всіх досліджуваних випадках, напевно, має одну і ту ж природу. Його за механізмом пов'язуємо з електронними міжзонними переходами [4–6].

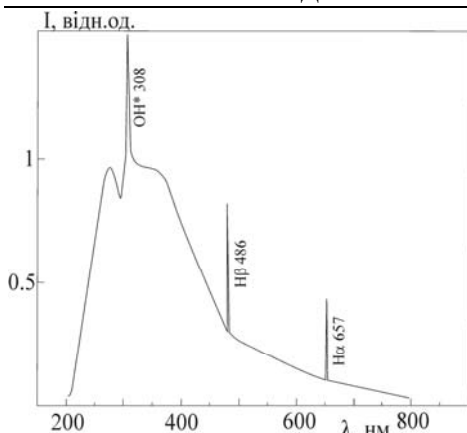


Рис. 2. Електрон-фотонна емісія чистого кремнію

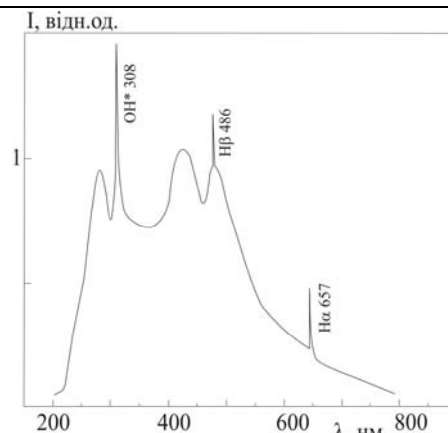


Рис. 3. Електрон-фотонна емісія кремнію, легованого фосфором

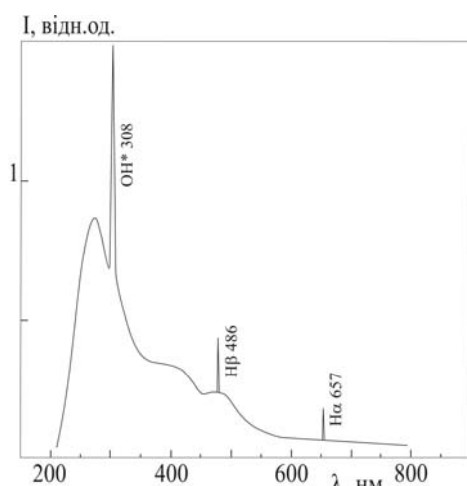


Рис. 4. Електрон-фотонна емісія кремнію, легованого бором

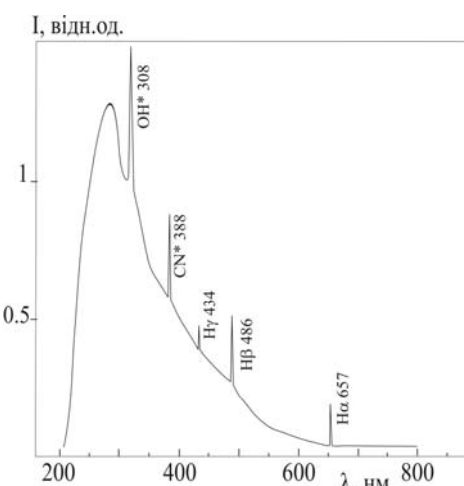


Рис. 5. Електрон-фотонна емісія кремнію, легованого молибденом

З отриманих результатів також робимо висновок, що поверхня кремнію, навіть в умовах надвисокого вакууму, активно покривається частинками залишкового газу в робочій камері. Це видно з наявності у всіх спектрах молекулярної смуги ОН і характеристичних ліній водню H_{α} і H_{β} . Вони, імовірно, є фрагментами молекул води, що адсорбовані на поверхні, які дисоціюють під дією електронів. Досліджено зміну інтенсивності молекулярної смуги ОН від енергії (рис. 6). Зі збільшенням енергії бомбардуючого пучка інтенсивність свічення молекули ОН значно зменшується.

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

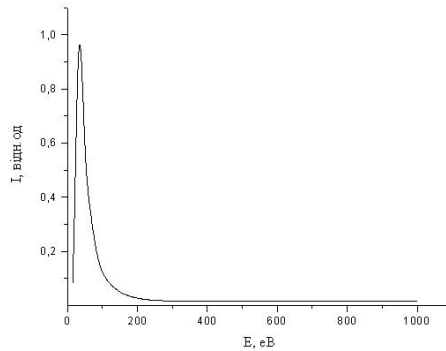


Рис. 6. Залежність інтенсивності ОН від енергії бомбардуючого пучка

Досліджено спектри електрон-фотонної емісії чистого і легованого іонами бору, фосфору і миш'яку кремнію, зроблено їх порівняння. Неперервне випромінювання, яке простежене 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 під час легування.

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.

1. Вудраф Д., Делчер Т. Современные методы исследования поверхности. М.: Мир, 1989. 542 с.
2. Лінтур М.І., Маркович Л.М., Мاستюгін В.О., Приходько М.В., Шароді І.С. Надвисоковакуумний електрон-фотонний спектрометр // Наук. вісник Ужгородського ун-ту. Сер. фіз. 2001. №10. С. 191–194.
3. Нестеренко Б.А., Снитко О.В. Физические свойства атомарно-чистой поверхности полупроводников. К.: Наук. думка, 1983. 476 с.
4. Пека Г.П. Физические явления на поверхности полупроводников. К.: Вища школа, 1984. 186 с.
5. Поп С.С., Шароді І.С. Фізична електроніка. Л.: Євросвіт, 2001. 220 с.
6. Shpenik O.B., Popik T.Yu., Feyer V.M., Popik Yu.V. Low-energy electron backscattering spectroscopy of the p-Si (100) surface // Physika. 2002. Vol. 315. P. 133–142.

**THE SPECTRAL COMPOSITION AND BEHAVIOUR OF OPTICAL
RADIATION WHICH ARISE UNDER ELECTRON BOMBARDMENT OF
PURE AND ALLOYED SILICON SURFACE**

M. Lintur, M. Prihodko, L. Markovich, S. Pop

*Uzhgorod National University,
Voloshin str., 54, UA-88000 Uzhhorod, Ukraine
e-mail: qel@univ.uzhgorod.ua*

The features in the surface emission spectra of pure and B⁻, P⁺- and As⁺-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.

Key words: optical radiation, silicon, electron-photon emission.

Стаття надійшла до редколегії 19.05.2004

Прийнята до друку 21.11.2005