

ЗБУДЖЕННЯ ПОВЕРХНЕВИХ ПЛАЗМОНІВ ПРИ ОПРОМІНЕННІ ПОВЕРХНІ Ag ІОНАМИ K^+

**В.В.Кузьма, О.М.Конопльов, А.С.Бобровник, В.О.Мастюгін,
Г.Ю.Подгорецька, В.Г.Дробнич**

Ужгородський національний університет, 88000, Ужгород, вул. Волошина, 54

Виконано експеримент по виявленню свічення поверхні на частоті поверхневих плазмнів при бомбардуванні Ag іонами K^+ , тобто у випадку, коли нейтралізація первинного іона не може дати енергію, достатню для збудження плазмона. Дане свічення нам вдалося виявити і дослідити. Зокрема, для нього визначено вихід фотонів на падаючий іон. Запропоновано механізм виникнення цього свічення.

Актуальною задачею фундаментальних досліджень іон-фотонної емісії металів є ідентифікація механізму виникнення свічення поверхні, максимум інтенсивності якого припадає на частоту поверхневих плазмнів (ПП) [1-3]. Серед перспективних механізмів виникнення цього свічення виділяють такі, що пов'язані з нейтралізацією іона, який взаємодіє з поверхнею (нейтралізаційні механізми, скорочено – НМ) [4-7]. На даний час промодельовані два НМ. Вони пов'язані з нейтралізацією позитивного іона електронами зони провідності метала і реалізуються при наявності у частинки, що нейтралізується, вакантного енергетичного рівня, який лежить достатньо глибоко під рівнем Фермі метала. Згідно цим НМ енергія, що виділяється при захваті електрона частинкою (енергія нейтралізації), витрачається або на народження фотона з частотою ПП [4], або на збудження ПП [5-7]. В останньому випадку зазначене свічення виникає при радіаційному розпаді ПП на мікронерівностях поверхні [8,9], а електронно-дірковий розпад цих ПП проявляється в іонно-електронній емісії [10,11].

Автори робіт [1,12] детально дослідили це свічення у випадку бомбардування Ag іонами водню і інертних газів. Вони прийшли до висновку, що механізмом його виникнення є нейтралізаційний. При бомбардуванні срібла іонами K^+ [1] вони не спостерігали свічення і пов'язували це з

недостатністю енергії нейтралізації іона калію (робота виходу Ag складає 4.3 eV, енергія іонізації калію – 4.34 eV) для збудження ПП срібла (3.66 eV).

Даному факту можна дати альтернативне пояснення. Експерименти [1] проводились при стаціонарних умовах бомбардування іонами K^+ поверхні Ag, тобто при наявності суттєвої концентрації імплантованих атомів калію. В цьому випадку характерне для срібла випромінювання не повинно спостерігатись тому, що замість чистої поверхні срібла іонний пучок зондує сплав Ag-K.

Метою цієї роботи було з'ясування факту наявності чи відсутності випромінювання на частоті ПП при опроміненні поверхні срібла іонами калію.

Експерименти виконані на установці "Допплерівський томограф", що працювала в режимі іон- і електрон-фотонного спектрометра при робочому вакуумі $P=10^{-8}$ Тор [13]. Бомбардування мішені Ag здійснювалась іонами K^+ під кутом 3° (всі кути відраховувались від нормалі до поверхні), а кут збору випромінювання дорівнював 87° . Енергія іонів K^+ складала величину 6.4 кеВ при іонному струмі 160 мкА. Бомбардування мішені електронами з енергією 800 eV ($I_e=2$ mA) здійснювалось під кутом 45° , а кут спостереження був таким же, як і при опроміненні мішені іонним пучком, що дозволяло реєструвати спектри не тільки при бомбардуванні мі-

шені іонним і електронним пучками окремо, але і одночасно. Випромінювання в діапазоні довжин хвиль $\lambda=200-650$ нм аналізувалося за допомогою дифракційного монохроматора МДР-2 и детектувалося фотоелектронним помножувачем ФЭУ-106, який працював у режимі лічби окремих фотоелектронів. Запис спектрів випромінювання поверхні срібла здійснювався за допомогою автоматизованої системи реєстрації.

Спеціально для цього експерименту виконано калібровку абсолютної і відносної чутливості системи аналізу і реєстрації випромінювання, що дозволило побудувати спектри випромінювання з врахуванням кривої чутливості. В експериментах використовувалась мішень з атестованого полікристалічного зразка срібла з чистотою 99.9% та підготовленою за стандартними методиками поверхнею. Для забезпечення необхідної чистоти поверхні, в тому числі для звільнення мішені від імплантованого калію, використовувалась термоочистка. Критерієм достатньої очистки поверхні від імплантованих атомів калію була наявність свічення на частоті ПП при бомбардуванні срібла електронами, оскільки спектр Ag при електронному бомбардуванні добре вивчений і пов'язаний зі збудженням ПП [14].

На рис.1 представлено одержаний нами спектр електрон-фотонної емісії срібла, який добре узгоджується з результатами експериментів інших авторів [14,15]. Він характеризує випромінювання на частоті ПП і свідчить про те, що поверхня Ag чиста.

На рис. 2 наведено спектр іон-фотонної емісії срібла, який одержано в умовах стаціонарної взаємодії іонів K^+ з поверхнею. Видно, що він складається з характеристичних спектральних ліній розпилених та розсіяних частинок. Неперервна компонента випромінювання в спектрі відсутня, що підтверджує нашу гіпотезу щодо зміни електронної конфігурації поверхні.

Шукане свічення нами було виявлено в початковий момент бомбардування іона-

ми K^+ чистої, не легованої поверхні срібла, але воно швидко спадало за інтенсивні

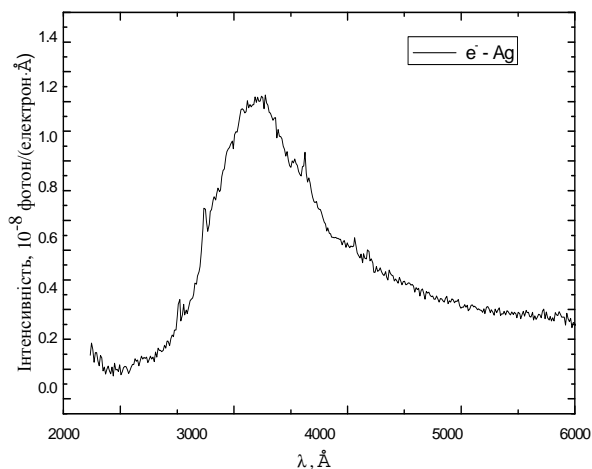


Рис. 1. Спектр випромінювання на частоті ПП при опроміненні поверхні срібла електронами.

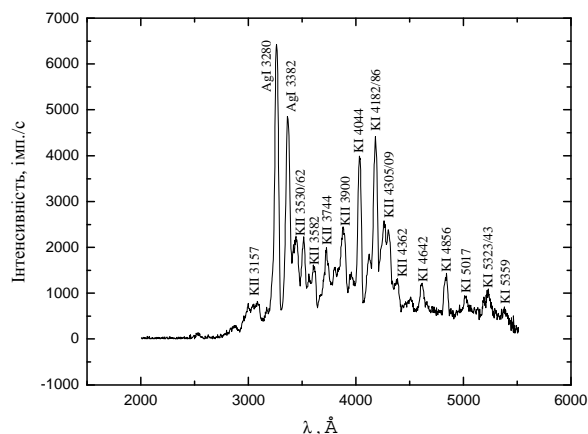


Рис.2. Спектр іон-фотонної емісії срібла

стю. Тому для побудови його спектру визначались часові залежності інтенсивності свічення на довжинах хвиль, де відсутні характеристичні лінії іон-фотонної емісії срібла, і по першим точкам будувався шуканий спектр випромінювання.

На рис.3 представлено одну з таких залежностей для довжини хвилі $\lambda=338.8$ нм. Із рисунка 3 видно, що максимальний сигнал спостерігається в початковий момент бомбардування, а в подальшому

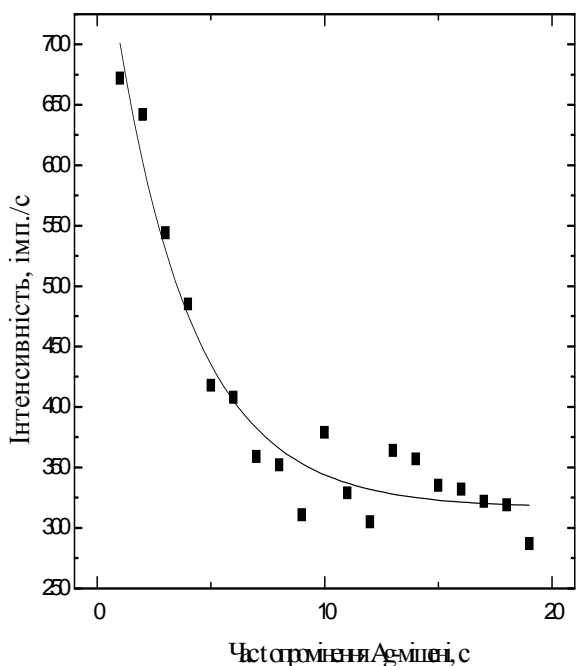


Рис. 3. Залежність інтенсивності свічення для $\lambda = 3388 \text{ \AA}$ від часу опромінення чистої поверхні Ag іонами K^+

спадає приблизно по експоненціальному закону за характерний час $\Delta t \approx 3 \text{ с}$. Аналогічні залежності отримано і на інших довжинах хвиль.

Шуканий спектр, побудований за першими точками цих залежностей, представлено на рис. 4. Видно, що він добре узгоджується по формі і положенню максимуму спектра, наведеного на рис.1. Це дозволяє ідентифікувати отриманий при іонному бомбардуванні спектр, як випромінювання на частоті ПП. Видно також, що величина абсолютного виходу при опроміненні мішені іонами K^+ в максимумі складає $2.26 \cdot 10^{-8}$ фотон/(іон· \AA), при електронному опроміненні ця величина складає $1.17 \cdot 10^{-8}$ фотон/(ел· \AA). Визначено також виходи фотонів на падаючий іон і падаючий електрон. Ці величини складають $1.81 \cdot 10^{-5}$ фотон/іон і $1.41 \cdot 10^{-5}$ фотон/електрон. Враховуючи, що енергії, яка виділяється при нейтралізації іонів K^+ біля поверхні срібла, недостатньо для збудження ПП (на відміну від

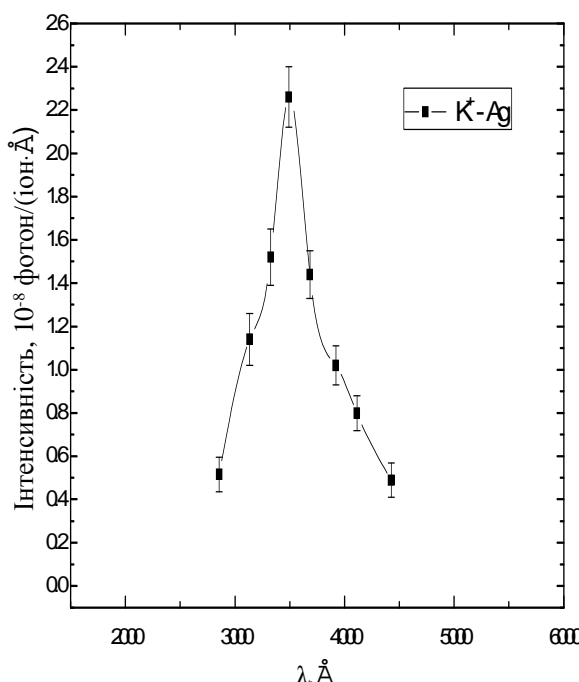


Рис. 4. Спектр випромінювання на частоті ПП при опроміненні поверхні срібла іонами K^+ .

нейтралізації водню та інертних газів), можна зробити висновок про існування нового різновиду нейтралізаційного механізму, який повинен супроводжувати будь-які процеси нейтралізації первинного іону.

Нами запропоновано НМ, котрий реалізується при будь-яких, у тому числі резонансних процесах нейтралізації додатних та від'ємних іонів. В цьому механізмі, на відміну від НМ [4-7], нейтралізація не обов'язково породжує нові збудження. Вона виконує іншу важливу роль – впливає на стан існуючих ПП, тобто тих, яким відповідає флюктуючий поверхневий заряд, що перешкоджає проникненню електричного поля іона в метал. При швидкій нейтралізації іона зазначений поверхневий заряд не встигає зникнути повністю і ПП, які залишилися, можуть підлягати радіаційному або електронно-дірковому розпаду. Побудовано квантово-механічну модель цього механізму [16], яка добре узгоджується з представленими вище експериментальними даними.

ЛІТЕРАТУРА

1. Yu.A.Bandurin, A.Y.Dashchenko, I.E.Mitropolsky, S.S.Pop. Nucl. Instr. and Meth. B 78 (1993) 159.
2. Yu.A.Bandurin, A.Y.Dashchenko, I.E.Mitropolsky, S.S.Pop. Optics and Spectroscopy. 83 (1997) 34.
3. Yu.Bandurin, S.Lacombe, L.Guillemot, V.Esaulov. Surface Sci. 513 (2002) L413.
4. K.Shimizu. Phys. Rev. B 60 (1999) 17091.
5. A.A.Almulhem, M.D.Girardeau. Surface Sci. 210 (1989) 138.
6. F.A.Gutierrez. Surface Sci. 370 (1997) 77.
7. R.Monreal, N.Lorente. Phys. Rev. B 52 (1995) 4760.
8. R.H.Ritchie. Phys. Stat. Sol. 39 (1970) 297.
9. E.N.Economou, K.L.Ngai, Advan. Chem. Phys. 27 (1974) 265.
10. R.A.Baragiola, S.M.Ritzau, R.C.Monreal, C.A.Dukes, P.Riccardi. Nucl. Instr. and Meth. 157 (1999) 110.
11. R.A.Baragiola, C.A.Dukes, P.Riccardi. Nucl. Instr. and Meth. 182 (2001) 73.
12. Ю.А.Бандурин, Л.С.Белых, А.И.Дашченко, И.Е.Митропольский, С.С.Поп. Тем. сб. научных трудов под ред. Н.Н.Находкина. (1992) 239.
13. В.Г.Дробнич, С.С.Поп, В.А.Есаулов. Доплеровская томография потока атомных частиц, Ужгород: Закарпаття, 1998.
14. М.П.Кляп, В.А.Крицкий, С.С.Поп. Оптика и спектроскопия. 54 (1984) 944.
15. С.С.Поп, В.А.Крицкий, И.П.Запесочный. Письма в ЖТФ. 5 (1979) 1452.
16. А.С.Бобровник, В.В.Кузьма, А.Н.Коноплев, В.А.Мастюгин, Г.Ю.Подгорецкая, В.Г.Дробнич. (Буде опубліковано в Мат.ХVІІІ міжн. конф. "ВІП-2007" Москва).

THE EXCITATION OF SURFACE PLASMONS DURING BOMBARDMENT OF Ag SURFACE BY K^+ IONS

**V.V.Kuzma, A.N.Konoplyov, A.S.Bobrovnik,
V.A.Mastyugin, G.Y.Podgoretskaya, V.G.Drobnich**

Uzhgorod National University, 88000 Uzhgorod, Voloshina St. 54

The experiment on discovery of radiation with surface plasmons frequency was carried out during bombardment of Ag by K^+ ions. This is the case when the energy of neutralization of primary ion is insufficient for excitation of surface plasmon. We managed to detect this radiation and investigate it. In particular, we measured photon yield per primary ion. The mechanism of radiation origin is proposed.