



УКРАЇНА

(19) UA

(11) 44612

(13) A

(51) 6 G01N23/00

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ

ОПИС

ДО ДЕКЛАРАЦІЙНОГО ПАТЕНТУ
НА ВИНАХІДВИДАЄТЬСЯ ПІД
ВІДПОВІДАЛЬНІСТЬ
ВЛАСНИКА
ПАТЕНТУ**(54) ПРИСТРІЙ ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ ТРИВИМІРНИХ ФУНКЦІЙ РОЗПОДІЛУ ЗА ШВИДКОСТЯМИ АТОМІВ ТА ІОНІВ, РОЗПОРОШЕНИХ І РОЗСІЯНИХ В БУДЬ-ЯКОМУ КОНКРЕТНОМУ І-ОМУ ЕЛЕКТРОННОМУ СТАНІ**

1

2

(21) 2001064025

(22) 12 06 2001

(24) 15 02 2002

(46) 15 02 2002, Бюл. № 2, 2002 р.

(72) Дробнич Володимир Григорович, Конопльов Олександр Миколайович, Охріменко Сергій Володимирович, Поп Степан Степанович, Шароді Ірина Степанівна

(73) УЖГОРОДСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

(57) Пристрій для вимірювання тривимірних функцій розподілу за швидкостями атомів і іонів, розпоросених і розсіяних у будь-якому конкретному і-ому електронному стані, який включає високовакуумну камеру взаємодії, в якій проводиться бомбардування поверхні твердого тіла, лазер неперервної дії, за допомогою якого, коли і є основним або метастабільним станом, проводиться

збудження цих частинок в обраний стан s , та системи реєстрації доплерівського контуру лінії, яка відповідає оптичним переходам між станами s та i , який відрізняється тим, що додатково обладнаний системою дзеркал для виділення пучка фотонів, які емпуються в деякому напрямку i при спонтанному випромінювальному розпаді визначеного збудженого стану s , при цьому система дзеркал складається з сферичного і плоского дзеркал, є поворотною і дає можливість з однаковою ефективністю збирати фотони, емповані з різних точок простору, і направляти їх на систему реєстрації доплерівського контуру, а для однофотонного збудження досліджуваних частинок у всьому діапазоні їх швидкостей використовується лазер неперервної дії з достатньо широкою лінією генерації, яка перекидає доплерівський контур лінії поглинання для цих частинок

Винахід відноситься до емісійної електроніки, а саме - до пристроїв для вимірювання диференціальних характеристик потоку атомних частинок, розпоросених і розсіяних при бомбардуванні поверхні твердого тіла в вакуумі пучком прискорених іонів і може бути використаний в різних галузях сучасної науки і техніки, пов'язаних із створенням нових речовин і матеріалів, зокрема матеріалів наноелектроніки та надчистих матеріалів

Найбільш інформативною характеристикою потоку атомів чи іонів, розпоросених або розсіяних в і-ому електронному стані, що може спостерігатися експериментально, є функція тривимірного розподілу цих частинок за швидкостями $F_i(v)$. Великий науковий і практичний інтерес викликає створення пристрою для вимірювання розподілів $F_i(v)$, які відповідають будь-яким можливим і, а саме основному стану ($i = \text{ground}$), метастабільним станам ($i = \text{metastable}$) і збудженим станам ($i = \text{excited}$). Це обумовлено тим, що експериментальні дослідження розподілів $F_i(v)$ необхідні для з'ясування механізмів та створення теорії різних

емісійних явищ (розпоросення, розсіяння, вторинної іонної емісії (BIE), іонно-фотонної емісії (IFE) та інших [1]), які супроводжують іонне бомбардування твердого тіла і лежать в основі сучасних методів діагностики поверхні іонними пучками вторинно-іонної маспектрометрії (BIMC) [2], іонно-розсіянової спектроскопії (IPC) [2], іонно-фотонної спектроскопії (IFC) [3], спектроскопії збуджених розсіяних часток (C3P4) [4], резонансної лазерно-іонізаційної спектроскопії (РЛІМС) [5] та інших. Одержання функцій $F_i(v)$ які відповідають різним і дозволить визначити будь-яку диференціальну (та, вочевидь, інтегральну) характеристику потоку відлітаючих від поверхні атомів і іонів, а також таку фундаментальну величину як залежність імовірності утворення і-ого електронного стану розпоросеної або розсіяної частинки від її швидкості $n_i(v)$ [3]

$$n_i(v) = F_i(v) / \sum_m F_m(v) \quad (1)$$

де m - будь який можливий електронний стан розпоросеної або розсіяної частинки

(13) A

(11) 44612

(19) UA

Загальним недоліком відомих пристроїв є те, що вони не придатні для дослідження розподілів $F_i(v)$ для збуджених атомів. Але саме ці частинки дають основний внесок в ІФЕ і є найінформативнішими про поверхню в методах ІФС та СЗРЧ. Пристрій, який пропонується, дає можливість досліджувати функції $F_i(v)$, які відповідають будь-яким електронним станам, ($i = \text{ground}, i = \text{metastable}, i = \text{excited}$) для атомів і іонів.

Відомі пристрої які реалізують способи одержання $F_i(v)$ об'єднує наступний підхід

а) з всього потоку відлітаючих від поверхні частинок в i -му стані виділяють ті, які рухаються в малому телесному куті

$$\Delta\Omega = \sin\Theta \sin\Phi \quad (2)$$

де Θ і Φ - відповідно полярний та азимутальний кути вильоту збуджених частинок, які відповідають деякому обраному напрямку векторів їх швидкостей v ,

б) вимірюють величину $\Delta f_i^{\Theta, \Phi}(v)$, яка пропорційна числу частинок в i -му стані, які рухаються всередині $\Delta\Omega$ з швидкостями, модулі яких лежать у вузькому інтервалі $[v, v + \Delta v]$,

в) виконують п. б) при різних v ,

г) виконують п. п. а) - в) при різних Θ, Φ ,

д) знаходять функцію

$$F_i(v, \Theta, \Phi) = \frac{\Delta f_i^{\Theta, \Phi}(v)}{v^2 \Delta v \Delta\Omega} \quad (3)$$

яка є шуканим розподілом $F_i(v)$, записаним в сферичних координатах вектора v .

Інформацію про розподіл за швидкостями атомів і іонів в основному і метастабільному стані одержують на пристрої, який реалізує спосіб РЛМС, який є аналогом запропонованого винаходу. Пристрій складається з високовакуумної камери взаємодії, в якій розпорошені в досліджуваному стані частинки іонізують за допомогою перестроюваного лазера. Одержані таким чином іони потім аналізують за допомогою мас-спектрометра з енергетичним розділом який дозволяє змінювати кути спостереження Θ і Φ , і знаходять $f_i^{\Theta, \Phi}(v)$ [5].

Для вимірів розподілів за швидкостями частинок в основному та метастабільних станах застосовують пристрій, який реалізує оптичний спосіб - спектроскопію доплерівського зсуву індукційованої лазерним випромінюванням флуоресценції (СДЗЛФ) [6], який є прототипом винаходу що пропонується. Пристрій складається з високовакуумної камери взаємодії в якій з потоку розпорошених атомів або іонів в досліджуваному стані за допомогою діафрагми виділяють ті, що рухаються в телесному куті $\Delta\Omega(\Theta, \Phi)$. Потім з виділених частинок за допомогою випромінювання одночастотного перестроюваного лазера збуджують (використовуючи ефект Доплера) ті які рухаються з швидкістю v . Інтенсивність спонтанного випромінювання збуджених таким чином частинок реєструють за допомогою системи монохроматор - ФЕП. Вимірюючи залежність цієї інтенсивності від частоти збуджуючого лазерного випромінювання, одержують доплерівський контур поглинання для частинок в досліджуваному стані. Одержаний контур представляють в шкалі швидкостей і знаходять $\Delta f_i^{\Theta, \Phi}(v)$. Пристрій не дає можливості отримувати

інформацію про розподіли за швидкостями частинок, які емітовані в збудженому стані, тому що з-за малих часів життя ($\leq 10^{-8}$ с) більшість з них переходять в основний стан ще до моменту взаємодії з лазерним випромінюванням. В СДЗЛФ для виділення частинок, які вилітають з поверхні в напрямку Θ, Φ використовують діафрагму. Перехід від одного набору Θ, Φ до іншого потребує зміни напаштування всієї вимірювальної системи, що робить надзвичайно складним і довгим вимірювання набору функцій $\Delta f_i^{\Theta, \Phi}(v)$, які відповідають різним Θ, Φ , а також суттєво знижує точність за рахунок неминучих змін геометрії виділення пучка та збору фотонів. Крім того, через необхідність застосування одночастотного пристроюваного лазера пристрій є дорогим.

Завданням винаходу є розробка пристрою для вимірювання розподілів за швидкостями $F_i(v)$ розпорошених і розсіяних атомів і іонів для всієї низки електронних станів цих частинок ($i = \text{ground, metastable, excited}$), збільшення точності, скорочення часу вимірів та зниження вартості обладнання.

Поставлене завдання досягається в пристрої для вимірювання тривимірних функцій розподілу за швидкостями атомів і іонів, розпорошених і розсіяних в будь-якому конкретному i -ому електронному стані, який включає високовакуумну камеру взаємодії, в якій проводиться бомбардування поверхні твердого тіла, лазеру неперервної дії, за допомогою якого копи і є основним або метастабільним станом, проводиться збудження цих частинок в обраний стан s , та системи реєстрації доплерівського контуру лінії яка відповідає оптичним переходам між станами s та i , який згідно винаходу, додатково обладнаний системою дзеркал для виділення пучка фотонів, які емітуються в деякому напрямку і при спонтанному випромінюванні розпаді визначеного збудженого стану s , при цьому система дзеркал складається з сферичного і плоского дзеркал, є поворотною і дає можливість з однаковою ефективністю збирати фотони, емітовані з різних точок простору, і направляти їх на систему реєстрації доплерівського контуру, а для однофотонного збудження досліджуваних частинок у всьому діапазоні їх швидкостей використовуються лазер неперервної дії з достатньо широкою лінією генерації, яка перебиває доплерівський контур лінії поглинання для цих частинок.

Даний пристрій відрізняється від свого прототипу, по-перше, умовами лазерного опромінення емітованих атомів і, по-друге, наявністю системи дзеркал, яка дозволяє проводити виділення не частинок а емітованих ними фотонів, за аналізом яких і одержують шукані тривимірні функції розподілу за швидкостями атомів і іонів розпорошених і розсіяних в будь-якому конкретному електронному стані.

Порівняння з прототипом виявляє наступні переваги даного пристрою: відкривається можливість дослідження тривимірних розподілів за швидкостями $F_i(v)$ розпорошених і розсіяних атомів і іонів для всього кола електронних станів цих частинок ($i = \text{ground, metastable, excited}$), пристрій дає можливість проводити виділення не відлітаючих частинок, а емітованих ними фотонів що призводить до збільшення точності та

скороченню часу вимірів, суттєво здешевлюється вартість самого пристрою замість дорогого одночастотного стабілізованого лазера на барвнику (ширина спектру випромінювання якого біля 10^8 \AA) використовується дешевий лазер з шириною спектру випромінювання від 2 до 4 \AA , який не потребує стабілізації.

Сутність пристрою, що пропонується пояснюється на Фіг. Пристрій складається з перестроюваного лазера неперервної дії 1 за допомогою якого збуджуються досліджувані частинки розпорошені або розсіяні з мішені 2 внаслідок бомбардування її іонним пучком в камері взаємодії 3, системи дзеркал, яка складається з сферичного дзеркала 4 і плоского дзеркала 5 і знаходиться всередині камери взаємодії, та лінзи 6, за допомогою яких пучок фотонів, які емітуються в обраному за допомогою дзеркал напрямку 1 спрямовується на систему реєстрації доплерівського контуру 7. Данні про доплерівські контури обробляються на обчислювальному комплексі 8.

Пристрій реалізує спосіб вимірювання тримірних функцій розподілу за швидкостями атомів і іонів розпорошених і розсіяних в будь-якому конкретному електронному стані [7] і працює наступним чином. Потік відлітаючих від поверхні атомів і іонів утворюється в результаті бомбардування в вакуумі мішені 2 іонами. У випадку коли $i = \text{ground, metastable}$ досліджувані частинки переводяться в визначений збуджений стан s , шляхом однофотонного збудження частинок у всьому діапазоні їх швидкостей за допомогою лазера неперервної дії 1 з достатньо широкою лінійною генерацією, яка перекидає доплерівський контур поглинання для цих частинок. Спеціальна оптична система дає змогу одержувати прямокутну форму поперечного перерізу лазерного променя (світловий ніж) з рівномірним розподілом інтенсивності по цьому перерізу.

Світіння, що випромінюється емітованими частинками у вибраному напрямку спостереження 1, за допомогою системи дзеркал 4, 5 і лінзи 6 фокусується на вхід системи реєстрації доплерівського контуру 7 [7]. Напрямок спостереження випромінювання змінюють за допомогою пристрою, що дозволяє обертати навколо загальної осі сферичне дзеркало 4 і плоске дзеркало 5 з відношенням кутів повороту 2 : 1. Вісь обертання дзеркал лежить на поверхні мішені. Плоске дзеркало знаходиться на осі обертання безпосередньо біля мішені. Сферичне дзеркало розміщене приблизно на подвійній фокусній відстані від осі і від ореолу іонно-фотонної емісії. Напрямок 1 визначається положенням сферичного дзеркала відносно ореолу (цим задається полярний кут спостереження випромінювання) і кутом повороту мішені навколо нормалі до її поверхні (цим задається азимутальний кут спостереження випромінювання). Фотони, що випромінюються у напрямку 1, відбиваються від сферичного дзеркала, після цього від плоского

і, при відповідному положенні останнього, попадають на лінзу 6. Умови збору випромінювання однакові для всіх напрямків 1. Досягається це тим, що сформоване сферичним дзеркалом зображення ореола знаходиться в одному і тому ж місці поблизу осі обертання і перетинається плоским дзеркалом. Це зображення проектується лінзою 6 на вхід системи реєстрації доплерівського контуру 7. Лінза 6 дає зменшене зображення, що забезпечує можливість досліджувати світіння, випромінюване в напрямку 1 з всього об'єму ореолу 3 набору доплерівських контурів $f(\lambda)$ виміряних для різних напрямків 1 за допомогою методів комп'ютерної томографії [7] знаходять шукані розподіли $F_i(v)$.

Ефективність винаходу визначається тим, що при відносному зниженні вартості апаратури пристрій дозволяє з високою точністю вимірювати тривимірні розподіли за швидкостями $F_i(v)$ розпорошених і розсіяних атомів і іонів для всієї низки електронних станів цих частинок (а саме для $i = \text{ground, metastable, excited}$).

Винахід може використовуватись для вирішення актуальних задач діагностики поверхні іонними пучками в різних галузях сучасної науки і техніки, пов'язаних із створенням нових речовин і матеріалів, зокрема матеріалів наноелектроніки та надчистих матеріалів.

Джерела інформації

1 Распыление твердых тел ионной бомбардировкой. Физическое распыление одноэлементных твердых тел. Вып. 1 / Под ред. Р. Бериша - М. Мир, 1984 - 336 с.

2 Черепин В. Т., Васильев М. А. Методы и приборы для анализа поверхности материалов. Справочник - К. Наукова думка, 1982 - 399 с.

3 С. С. Поп, С. Ф. Бельх, В. Г. Дробнич, В. Х. Ферлегер, Ионно-фотонная эмиссия металлов / Ташкент, ФАН, 1989.

4 Дробнич В. Г., Мастюгин В. А. Угловое распределение возбужденных ионов капля, отраженных от поверхности молибдена // Изв. АН СССР. Сер. физ. - 1990 - Т. 54, № 7 - С. 1258 - 1261.

5 Winograd N., Baxter J. P., Kimok P. M. Multiphoton resonance ionization of sputtered neutrals: a novel approach to materials characterization // Chem. Phys. Lett. - 1982 - V. 88, № 6 - P. 581 - 584.

6 Bay H. L. Laser induced fluorescence as a technique for investigations of sputtering phenomena // Nucl. Instr. & Meth. - 1987 - V. B 18 - P. 430 - 445 - прототип.

7 Пат. №14943 А. Україна, МКІ G01N23/00. Спосіб вимірювання тримірних функцій розподілу по швидкостях атомів і іонів, розпиленних і розсіяних в будь-якому конкретному електронному стані / Дробнич В. Г., Охріменко С. В., Мастюгин В. О., Поп С. С. (Україна) - № 93005558, Заявлено 29.06.93. Опубл. Промислова власність. Офіційний бюл. 1994. № 8 - 1. С. 2-87.

