НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ

ІНСТИТУТ ХІМІЇ ПОВЕРХНІ

На правах рукопису

УДК 553.9

КРАВЧЕНКО ЮРІЙ СТЕПАНОВИЧ

ДОСЛІДЖЕННЯ ФІЗИКО-ХІМІЧНИХ ПРОЦЕСІВ В ПРИПОВЕРХНЕВІЙ НЕРІВНОВАЖНІЙ ПЛАЗМІ ЧОТИРИХЛОРИСТОГО ВУГЛЕЦЮ

01.04.18 - фізика поверхні

01.04.08 - фізика та хімія плазми

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

дисертації на здобуття наукового ступеня

кандидата фізико-математичних наук

КИЇВ 1995

544.7
533.9
ЛННБ України ім.В.Стефаника
00761231 (К)

Дисертацією є рукопис

Роботу виконано в Вінницькому політехнічному університеті Міністерства

Науковий керівник - доктор технічних наук, професор
Осадчук Володимир Степанович

Науковий консультант - доктор фізико-математичних наук,
Гречко Леонід Григорович

Офіційні опоненти - доктор фізико-математичних наук,
Горбик Петро Петрович
доктор фізико-математичних наук,
професор Король Едуард Михайлович

Провідна організація - Інститут фізики НАН України

Захист відбудеться "19" жовтня 1995 р. о 14 год. на засіданні спеціалізованої вченої ради Д.01.73.01 в Інституті хімії поверхні НАН України, 252022, Київ-22, проспект Науки, 31.

З дисертацією можна ознайомитись в бібліотеці Інституту хімії поверхні НАН України, (252022, Київ-22, проспект Науки, 31).

Автореферат розіслано "15" вересня 1995 р.

ЛНБ ім. В. Стефаника
АН України

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради Приходько Г.П.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність роботи. Одним з найбільш перспективних напрямків сучасного виробництва, пов'язаного з прецизійною обробкою поверхні твердих тіл та її модифікацією, є плазмохімічна технологія, яка базується на взаємодії з поверхнею хімічно активних частинок нерівноважної плазми. Ефективність такої взаємодії залежить як від стану самої поверхні, так і від фізико-хімічних властивостей плазми, тобто, від концентрації, складу та енергії її хімічно активних частинок.

Такі властивості плазми вивчені недостатньо. Це суттєво гальмує подальше більш ефективне впровадження методів плазмохімічної обробки поверхні на практиці. Особливо це стосується приповерхневої плазми чотирихлористого вуглецю, яка має широкі перспективи застосування в мікроелектронній технології при формуванні шляхом плазмохімічного травлення функціонального топологічного малюнку мікросхем надвеликого ступеня інтеграції.

Актуальність роботи визначається невідповідністю між можливим більш широким і ефективним застосуванням методів плазмохімічної обробки поверхні різних матеріалів і недостатньою вивченістю фізико-хімічних властивостей нерівноважної плазми.

Мета роботи полягає у дослідженні фізико-хімічних процесів в нерівноважній плазмі на прикладі приповерхневої плазми чотирихлористого вуглецю шляхом визначення її внутрішніх параметрів та найбільш вірогідних механізмів основних хімічних реакцій, що призводять до утворення та загибелі хімічно активних частинок, та дослідження кінетики цих

процесів.

Згідно з поставленою метою основними завданнями досліджень є:

- проведення систематичних вимірювань внутрішніх параметрів нерівноважної приповерхневої плазми, яка збуджується у чотирихлористому вуглеці, та встановлення їх зв'язку зі швидкістю фізико-хімічних перетворювань;

- вибір найбільш вірогідних механізмів фізико-хімічних процесів;

- визначення найбільш вірогідних значень коефіцієнтів швидкостей досліджуємих процесів.

Це викликає необхідність:

- експериментальним або теоретичним шляхом визначити основні перерізи елементарних взаємодій у хлорвуглецевій плазмі;

- розробити та виготовити експериментальну установку;

- провести вимірювання параметрів нерівноважної плазми та зробити аналіз фізико-хімічних процесів в ній.

Методи досліджень. В дисертаційній роботі використано емісійно-спектральну, мас-спектральну та зондову діагностику, методи математичного моделювання.

Наукова новизна. Запропоновано методику розрахунку основних перерізів елементарних процесів взаємодії частинок в нерівноважній плазмі і вперше отримано дані про величини таких перерізів для приповерхневої плазми чотирихлористого вуглецю.

За допомогою розробленої експериментальної установки, вперше визначено основні внутрішні параметри нерівноважної хлорвуглецевої плазми, які суттєво впливають на характер її взаємодії з поверхнею.

Визначено механізми основних фізико-хімічних процесів в приповерхневій плазмі чотирихлористого вуглецю, які призводять до утворення, збудження та загибелі її хімічно активних частинок.

Вперше визначено склад, концентрацію та енергію частинок нерівноважної хлорвуглецевої плазми, які взаємодіють з поверхнею.

Практична цінність. Результати роботи мають практичне значення для розробки та оптимізації технології плазмохімічної обробки поверхні твердих тіл і, насамперед, у мікроелектроніці. Розроблена установка, методика та результати досліджень можуть бути використаними при вивченні механізмів і кінетики фізико-хімічних процесів у іншій плазмі, при аналізі процесів модифікації поверхні, синтезі матеріалів в нерівноважній плазмі та інших, пов'язаних з застосуванням низькотемпературної плазми, процесів.

Випробування роботи. Основні положення дисертації викладено і обговорено на Всесоюзному семінарі "Оптимізація складних систем", Вінниця, 1983; 4-му Всесоюзному симпозіумі по плазмохімії, Дніпропетровськ, 1984; семінарі "Контроль плазмових технологічних процесів в електроніці та мікроелектроніці", Мінськ, 1986; Всесоюзній конференції "Конструювання та технологія мікроелектронних пристроїв", Рига, 1986; обласних наукових конференціях 1983-1994; семінарах кафедри мікроелектроніки ВДТУ та ІХП НАН України. Основні наукові результати обговорювались на 9-му Міжнародному симпозіумі по плазмохімії, Пугночизо (Барі, Італія), 1989.

Структура та обсяг роботи. Дисертація складається із вступу, чотирьох розділів і висновків. Робота викладена на 159 сторінках машинописного тексту, включаючи 37 рисунків, 8

таблиць, бібліографію із 95 найменувань.

Публікації. Одержані результати викладено у 7 статтях, 4 тезах доповідей, захищено авторським свідоцтвом про винахід.

Автор захищає:

1. Методику та результати розрахунків основних перерізів елементарних атомно-молекулярних процесів в приповерхневій нерівноважній хлорвуглецевій плазмі.

2. Результати вимірювання внутрішніх параметрів приповерхневої плазми чотирихлористого вуглецю.

3. Досліджені механізми збудження частинок у тліючому розряді в тетрахлорметані.

4. Механізми та кінетику хімічних реакцій в приповерхневій плазмі CCl_4.

СТИСЛИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обгрунтовується актуальність тематики та мета дисертаційних досліджень, висвітлюється зміст наукових положень, які складають новизну і практичну цінність роботи.

В першому розділі показано переваги плазмохімічної технології, як одного з найбільш перспективних напрямків сучасного виробництва, пов'язаного з прецизійною обробкою поверхні твердих тіл та її модифікацією.

В той же час, широке впровадження у виробництво плазмохімічних методів обробки поверхні суттєво обмежується внаслідок недостатньої вивченості механізмів протікання фізико-хімічних процесів як у самій плазмі, так і взаємодії її хімічно активних частинок з поверхнею. Це на думку провідних

вчених у цій галузі, є найбільш "вузьким місцем" при розробці відповідних технологій і основним недоліком методів плазмохімічної обробки.

Особливо це стосується приповерхневої плазми чотирихлористого вуглецю, яка має широкі перспективи застосування в мікроелектроніці при формуванні шляхом плазмохімічного травлення функціонального топологічного малюнку мікросхем надвеликого ступеня інтеграції. Не зважаючи на значне збільшення уваги дослідників до цієї теми, на сьогодні відсутні достовірні дані не тільки про макровластивості такої плазми, пов'язані з вивченням механізмів хімічних реакцій в ній та визначенням їх кінетики, а й практично відсутні дані, які характеризують елементарні процеси взаємодії, тобто відсутні дані по основним перерізам такої взаємодії як для основної молекули, так і для продуктів її розпаду.

Проведений аналіз дозволив вибрати основну методику досліджень, яка в основі своїй спирається на експериментальне вивчення кінетики утворення та загибелі хімічно активних частинок при детальній діагностиці внутрішніх параметрів плазми і основною особливістю якої є обов'язкове врахування всіх енергетично можливих стадій процесів перетворювань з урахуванням законів збереження енергії, маси та елементного складу, зформулювати цілі та завдання таких досліджень.

У другому розділі подається методика та результати теоретичного розрахунку основних перерізів елементарних процесів у хлорвуглецевій плазмі.

Подана методика базується на застосуванні наближених методів розрахунку і основою її є те, що амплітуда пружного розсіювання електрона на молекулі шукається як проекція хвильової функції від'ємного іона на відповідні стани розсі-

ювання. При цьому багатоелектронна задача замінюється одноелектронною. Це досягається введенням ефективного потенціалу, який відбиває особливості розподілу електронної густини у від'ємному іоні. При пружному розсіюванні, де стан ядер молекули можна вважати фіксованим, першим наближенням до ефективного потенціалу можна взяти систему потенціалів нульового радіусу (ПНР), центрованих на ядрах атомів, які входять до складу молекули. В цьому наближенні розсіювання електрона на молекулі складається з актів розсіювання на окремих атомах та інтерференції розсіяних хвиль.

Користуючись цією моделлю були отримані аналітичні формули для розрахунків усередненого перерізу пружного та транспортного розсіювання для молекули типу XY_4(саме сюди відноситься молекула CCl_4) та XY_6 в залежності від енергії налітаючого електрона.

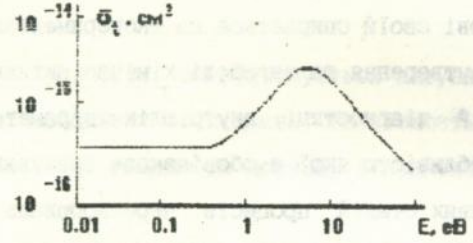


Рис.1. Транспортний переріз розсіювання електронів на CCl_4 в наближенні ПНР.

Для контролю точності були проведені розрахунки перерізів й для тих молекул, де є експериментальні дані (CH_4, CF_4, SiH_4, SF_6). Порівняння розрахункових та експериментальних даних дає розумне їх погодження, насамперед, в інтервалі енергій від декількох еВ до декількох десятків еВ.

Третій розділ присвячено експериментальному визначенню параметрів нерівноважної плазми чотирихлористого вуглецю.

Розроблена та виготовлена експериментальна установка, яка складається з плазмового реактора (розрядна вертикальна трубка діаметром 1,8 см з молібденового скла і рухомим анодом), енергетичного і газового блоків, системи вакуумного відкачування та блоків вимірювання параметрів на базі спектральних (λ - 200-1200 нм; монохроматор МДР-4, спектрометр ИСП-51), мас-спектральних (М - 1 - 400 а.о.м.; радіочастотний мас-спектрометр РОМС-8), зондових і термопарних вимірювань.

Основний об'єкт дослідження - позитивний стовп тліючого розряду.

Напруга і струм розряду могли регулюватись в межах 0 - 10 кВ та 0-100 мА. Були передбачені стабілізація розрядного струму та його модулювання прямокутними імпульсами тривалістю 1-100 мс з паузами між ними 1-100 мс.

Дослідження параметрів проводилось при тисках 8,5-85 Па та густині струму 2,5-25 мА/см^2.

Для реалізації спектральних методів діагностики хлорвуглецевої плазми використовували домішки аргону, ксенону та окису вуглецю.

Вперше, в умовах нерівноважної плазми чотирихлористого вуглецю, були визначені температура газу, напруженість електричного поля та концентрація частинок.

У четвертому розділі приведені методика та основні результати експериментальних досліджень кінетики та механізмів фізико-хімічних процесів в нерівноважній плазмі чотирихлористого вуглецю. Для обгрунтування спектроскопічних методів діагностики параметрів у такій плазмі в першу чергу було досліджено механізми збудження частинок у тліючому розряді в тетрахлорметані. Досліджувались механізми збудження смуг CO

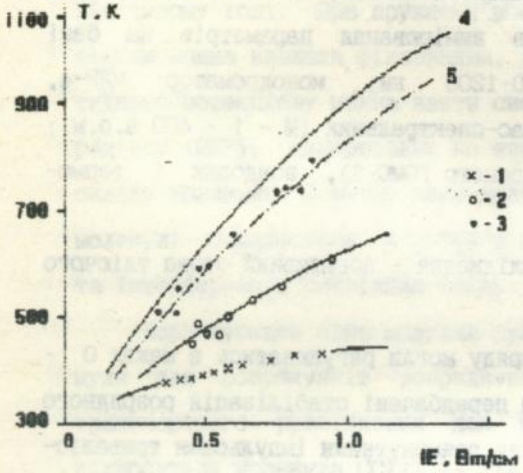
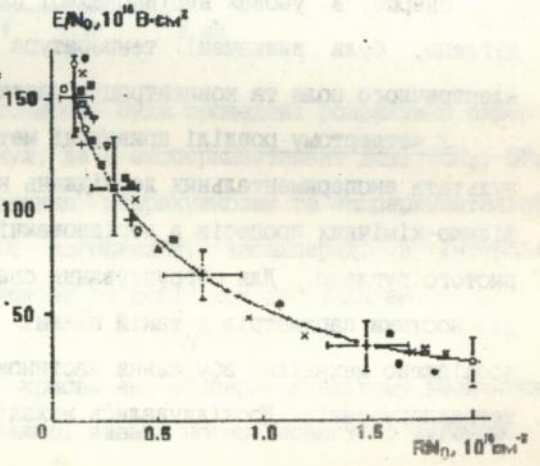


Рис.2. Залежність температури стінки (1), термопари (0,65 мм) на осі розряду (2), обертальної температури, виміряної по спектральній смузі CO (3) від питомої потужності розряду в суміші CCl_4+CO ($\gamma_{CO}^{(o)}$ - 20%).

Лінія 4 - розрахунок у передбаченні η=1,5 - η =0,8.

(η -частка потужності електричного поля, яка витрачається на нагрівання газу).

Рис.3. Залежність величини приведеного поля в розряді в CCl_4 при різних густинах струму та радіусах розрядної трубки від параметра RN_0 (точки - експеримент).



($B^1\Sigma^+$,v-0-$A^1\Pi$,v′-2), ліній атомів ксенону та хлору. Було експериментально доведено, що заселення збуджених станів атомів хлору Cl ($4p^4S_{3/2}$ - $4s^4P_{3/2}$) 725,6 нм і молекул CO 519,8 нм відбувається в результаті прямого збудження електронами відповідних частинок в основному електронному стані, а дезактивація - випромінюванням. Збудження випромінюючого рівня ксенону ($7d[7/2]_4$) 711,9 нм пов'язане з вторинними процесами, а тому використання його в якості спектроскопічної домішки не може бути перспективним.

Виходячи з проведених досліджень і аналізу механізмів збудження частинок у плазмі був зроблений висновок про можливість використання відношення інтенсивностей ліній та смуг хлору і окису вуглецю для визначення концентрації атомів хлору в розряді:

$$\frac{[Cl(3p^52P_{3/2})]}{[CO(X^1\Sigma^+)]} = \frac{J_{725.6}}{J_{519.8}} \cdot \frac{k_{Cl}}{k_{CO}} \cdot \nu'\nu'' \cdot \frac{A_{(B-A)}{}^{CO}}{A_{эф}{}^{CO}} \cdot \frac{(1+k_T[A]/A_{рад})_{Cl}}{(1+k_T[A]/A_{рад})_{CO}},$$

де $\nu'\nu''$ = 0,19 - фактор Франка-Кондона переходу ($B^1\Sigma^+$,v-0-$A^1\Pi$, v′-2) системи Ангстрема, $A_{(B-A)}$ - вірогідність радіаційного переходу з рівня $B^1\Sigma^+$,v-0 на всі рівні $A^1\Pi$,v-2, $A_{эф}$ - ефективна вірогідність радіаційного розпаду рівня $B^1\Sigma^+$, v-0, $k_{Cl}/k_{CO} \approx 1.25$ - відношення коефіцієнтів швидкості відповідних хімічних реакцій.

Спираючись на результати досліджень механізмів збудження частинок у плазмі, були проведені дослідження кінетики утворення та загибелі атомів хлору в тліючому розряді постійного струму. При цьому було показано, що утворення атомів хлору відбувається в результаті дисоціації вихідних молекул чотирихлористого вуглецю однократним електронним ударом, а загибель - в результаті хімічних реакцій, які мають другий

повний кінетичний порядок. Висновок про другий кінетичний порядок загибелі атомів хлору було зроблено вперше і це входило в протиріччя з твердженням інших дослідників. Крім того, неясною залишилась картина щодо інших частинок плазми, які, як і атоми хлору, є продуктами розкладання вихідної молекули CCl_4.

В зв'язку з цим, були проведені додаткові експерименти по вивченню механізмів розпаду основної молекули. Методика цих додаткових досліджень побудована на принципі релаксаційних спектроскопічних вимірювань, суть якої полягає в тому, що живлення розряду здійснюється від джерела постійного струму у вигляді прямокутних імпульсів. Залежність інтенсивності випромінювання від часу у різних фазах модуляції реєструється для вибраної довжини хвилі на екрані осцилографа. Це дозволяє безпосередньо спостерігати кінетику накопичування та загибелі відповідних незбуджених частинок плазми по зміні інтенсивності випромінювання тієї чи іншої спектральної лінії або смуги.

Така методика потребує достатнього знання спектру випромінювання плазми, що досліджується. Детальне його вивчення допомогло вперше ідентифікувати спектральні смуги частинок CCl_2 та визначити належність інтенсивного континууму λ - 450-750 нм, який відносили до випромінювання радикалів CCl, до випромінювання збуджених частинок CCl_3.

В ході проведених експериментів були досліджені початкові стадії розкладання молекули CCl_4. Показано, що в первинних актах розпаду цієї молекули під дією електронного удару в нерівноважних електричних розрядах утворюються в основному частинки CCl_2, CCl_3, атоми та молекули хлору. Радикали CCl утворюються в результаті вторинних реакцій,

зокрема, при парній іон-іонній рекомбінації. Збудження всіх продуктів, яке приводить до випромінювання смуг та ліній, а також континууму, відбувається в результаті однократних зіткнень відповідних частинок з електронами.

В процесі проведення релаксаційних експериментів було помічено, що при зменшенні тривалості паузи між імпульсами (<20 мс) на передньому фронті імпульсів інтенсивності хлору спостерігається різкий скачок за час тривалості переднього фронту імпульсу струму, який змінюється монотонним збільшенням інтенсивності до виходу на квазістаціонарне значення (рис.4). Величина цього скачка монотонно збільшується по мірі зменшення тривалості паузи струму. Причиною тут є швидке збудження вільних атомів хлору, котрі залишилися від попереднього імпульсу до моменту приходу наступного. Аналогічні

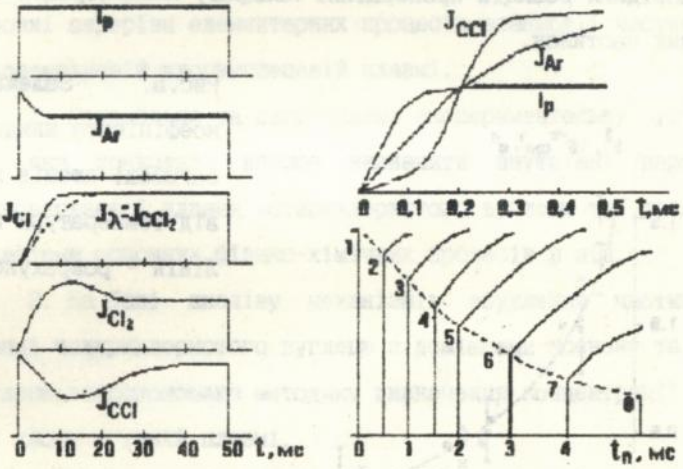


Рис.4. Осцилограми імпульсів розрядного струму (i_p), ліній випромінювання атомів аргону (J_{Ar}), хлору (J_{Cl}), континууму та смуг CCl_2 (J_{CCl2}), хлору (J_{Cl_2}), CCl (J_{CCl}). Пунктир - крива спаду незбуджених атомів в паузі імпульсу.

форми імпульсів спостерігались також для смуг CCl_2, Cl_2 та континууму. Отже, змінюючи тривалість паузи можна реєструвати кінетичні криві загибелі атомів і молекул хлору, а також хлорвуглецевих радикалів після вимкнення розряду.

Обробку таких кривих проводили в передбаченні першого та другого порядків реакції загибелі по концентрації. Результати обробки експериментальних даних показали, що в межах похибки вони описуються тільки у передбаченні загибелі атомів в реакції, яка має другий кінетичний порядок по їх концентрації. Це повністю підтверджує результати попередніх експериментів, проведених у розряді без модуляції його струму.

Аналогічна обробка кінетичних кривих загибелі молекул хлору, частинок CCl_2 та CCl_3 також показала, що кінетичний порядок реакцій їх загибелі дорівнює двом, тобто швидкості відповідних реакцій пропорційні квадрату концентрацій відповідних частинок.

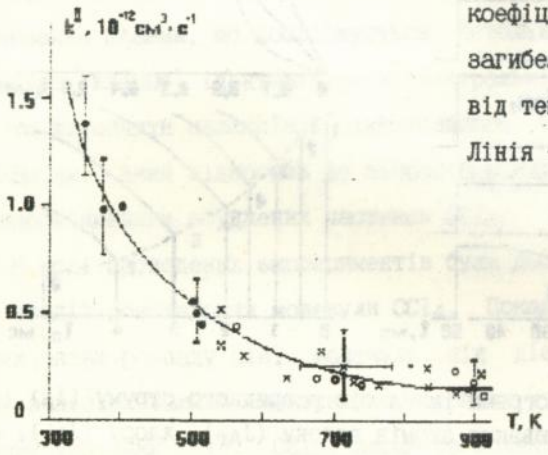


Рис.5. Залежність коефіцієнта швидкості загибелі атомів хлору від температури газу. Лінія - розрахунок.

Подальша обробка експериментальних даних проводилась з урахуванням саме цього висновку. Були визначені швидкості утворення та загибелі атомів та молекул хлору, хлорвуглецевих радикалів. Так було показано, що найбільші концентрації в розряді мають частинки CCl_2, хоча у первинному акті розпаду молекули CCl_4 утворюється приблизно рівна кількість частинок CCl_2 та атомів хлору, але ефективний коефіцієнт швидкості загибелі атомів у два рази більший. Швидкість утворення молекул хлору менша ніж атомів (приблизно у два рази), а гинуть вони, як і атоми, у зіткненні з частинками CCl_2. Радикалів CCl у плазмі небагато (1-2%).

ОСНОВНІ ВИСНОВКИ

1. Запропоновано методику, за якою вперше розраховано основні перерізи елементарних процесів взаємодії частинок в приповерхневій хлорвуглецевій плазмі.

2. Розроблено та виготовлено експериментальну установку, яка дозволила вперше визначити внутрішні параметри приповерхневої плазми чотирихлористого вуглецю та дослідити механізми основних фізико-хімічних процесів в ній.

3. На базі аналізу механізмів збудження частинок у плазмі чотирихлористого вуглецю з домішками ксенону та окису вуглецю запропоновано методику визначення концентрації атомів хлору у такій плазмі.

4. Проведено спектральні дослідження приповерхневої плазми чотирихлористого вуглецю, що дозволило вперше ідентифікувати смуги випромінювання збуджених частинок CCl_2 (λ - 500-560 нм) та показати, що інтенсивний континуум випроміню-

вання зобов'язаний своїм виникненням радикалам CCl_3 і не є рекомбінаційним.

5. Вперше спектральними дослідженнями показано, що у первинних актах розпаду молекул CCl_4 під дією електронго удару утворюються, в основному, частинки CCl_2, CCl_3, атоми і молекули хлору, а збудження усіх продуктів розкладання вихідної молекули, яке приводить до випромінювання континууму, смуг та ліній, відбувається в результаті однократних зіткнень з електронами.

6. Визначено механізми утворення та загибелі всіх хімічно активних частинок нерівноважної приповерхневої плазми чотирихлористого вуглецю (атомів і молекул хлору, хлорвуглецевих радикалів), відносні їх концентрації та кінетику протікання відповідних фізико-хімічних процесів.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ ВИКЛАДЕНО В ПУБЛІКАЦІЯХ:

1. Кравченко Ю.С., Осадчук В.С., Сергиенко А.Ф., Словецкий Д.И., Сухобрус И.И. Эксперименталное исследование кинетики накопления атомов хлора в тлеющем разряде в тетрахлорметане. // Химия высоких энергий. - 1985.-Т.19. - N6.-С.548- 554.

2. Кравченко Ю.С., Осадчук В.С., Ревенок В.И., Сергиенко А.Ф., Словецкий Д.И. Параметры тлеющего разряда в четыреххлористом углероде.// Теплофизика высоких температур. -1986.- Т.24.- N 1.- С.37-44.

3. Кравченко Ю.С., Осадчук В.С., Сергиенко А.Ф., Словецкий Д.И., Сухобрус И.И. Исследование механизмов возбуждения частиц в тлеющем разряде в тетрахлорметане.// Теплофизика высоких температур. - 1987.-Т.25.-N 1.-С.151-154.

4. Браницкий А.А., Кравченко Ю.С., Старовойтов М.А. Блок стабилизации давления для вакуумных систем с плазменными источниками.// Приборы и техника эксперимента. - 1987. - N5.- С.235.

5. Кравченко Ю.С., Осадчук В.С., Словецкий Д.И., Коровянко В.Н. Начальные стадии разложения тетрахлорметана в неравновесных электрических разрядах.// Химия высоких энергий. - 1989.-Т.23.-N 5.-С.444-449.

6. Кравченко Ю.С., Осадчук В.С., Словецкий Д.И., Таранов С.В. Кинетика образования и гибели атомов и молекул хлора, хлоруглеродных радикалов в тлеющем разряде в тетрахлорметане.// Химия высоких энергий. - 1989.-Т.23.-N 6.-С.539-544.

7. А.с. 1525587 СССР, МКИ G 01 R 1/06 Устройство для зондовой диагностики плазмы./ В.С.Осадчук, В.И.Ревенок, Ю.С.Кравченко Ю.С. и Н.В.Починко. - N 4342846/24-21; заявл.14.12.87; опубл.30.11.89.-Бюл.44.

8. Кондратович В.Д., Кравченко Ю.С. Сечения элементарных процессов в хлоруглеродной плазме./ Винницк.политехн. ин-т. - Винница, 1989. - 52 с.: ил. - Деп. в УкрНИИНТИ 14.12.89, N 2904 - Ук89.

9. Кравченко Ю.С., Сергиенко А.Ф., Сухобрус И.И. Комплексное исследование и моделирование процессов в низкотемпературном разряде.// Оптимизация сложных систем: Тез. докл. Всесоюзного семинара, 6-9 сент.1983.-Винница,1983.-С.17.

10. Кравченко Ю.С., Сухобрус И.И., Сергиенко А.Ф. Исследование кинетики образования атомов хлора в разряде в четыреххлористом углероде.// Тез. докл. 4-го всесоюзного симпозиума по плазмохимии. - Днепропетровск,1984.-С.43-44.

11. Кравченко Ю.С., Таранов С.В., Стасюк В.Н. Система

ЛНБ ім. В. Стефаника
Архів України

для научного и технологического исследования плазмохимической обработки материалов в CCl_4.// Конструирование и технология микроэлектронных устройств: Тез. докл. всесоюзной научно-технической конференции, Рига, 24-26 ноябр. 1986. - Москва, 1986. - С.86.

12. Slovetsky D.I., Kravchenko Yu.S., Osadchuk V.S. Initial stages of thetrachlormethane decomposition in nonequi lirium electric dicshages.// 9th Int. Symp. Plasma Chem., Pugnochiuso, Sept.4-8, 1989 : ISP-9: Symp.Proc. Vol.1 - [Bari], 1989. - P.240-244.

Особистий внесок. В роботах, опублікованих у співавторстві, дисертанту належить: [1-3,5,6,10,12] - проведення експерименту, аналіз і обробка даних; в решті публікацій - постановка задачі дослідження, участь в її рішенні, аналіз результатів.

Kravchenko Yu.S. Investigation of the physico-chemistry processes in near surface nonequilibrium plasma of fourchlorine carbor.

Thesis for scientific degree of Candidate physico-mathematical science on specialites 01.04.18 - physics of surfase and 01.04.08 - physics and chemistry of plasma, Institute for Surface Chemistr NAS of Ukrain, Kiyv, 1995. 11 scientific papers and one authors certificate, are defended. Thesis contain theoretical and experimental investigation of near surface nonequilibrium chlorine carbon plasma. It was determined that in primary dissociation acts of molecules CCl_4 by means of electric shock forms particles CCl_2, CCl_3,

atoms and molecules chlorine. Radical CCl forms in secondary reactions (pair ion-ion recombinations). It was registed the kinetic order of destroy this particles to be equal two (except CCl) and the greatest concentration in plasma is for CCl_2 particles.

Кравченко Ю.С. Исследование физико-химических процессов в приповерхностной неравновесной плазме четыреххлористого углерода.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальностям 01.04.18 - физика поверхности и 01.04.08 - физика и химия плазмы. Ин-т химии поверхности НАН Украины, Киев, 1995.

Защищается 11 научных работ и 1 авторское свидетельство, которые содержат результаты теоретических и експериментальных исследований физико-химических процессов в приповерхностной неравновесной хлоруглеродной плазме. Установлено, что в первичных актах распада молекул CCl_4 под действием электронного удара образуются частицы CCl_2, CCl_3, атомы и молекулы хлора, а радикал CCl образуется в результате вторичных реакций (парная ион-ионная рекомбинация). Показано, что кинетический порядок гибели этих частиц (за исключением CCl) равен двум, а наибольшую концентрацию в плазме имеют частицы CCl_2.

Ключові слова:

Поверхня напівпровідника, чотирихлористий вуглець, нерівноважна плазма, кінетика і механізми хімічних реакцій.

443420

Ав 33.013