

УДК 621.793.1

З.А. Шандра

Національний університет "Львівська політехніка",  
кафедра електронних приладів**ХАРАКТЕРИСТИКА ВІДБИВНОГО РОЗРЯДУ В КОМІРЦІ  
ПЕННІНГА З СЕКЦІЙНИМ АНОДОМ**

© Шандра З.А., 2001

Z. Szandra

**DESKRIPTION OF ION-GAGE DISCHARGE IN PENNING CELL  
WITH SECTIONAL ANODE**

© Szandra Z., 2001

У роботі досліджено розряд в комірці Пеннінга, в якій секційний анод розташований по центру розрядного проміжку між двома круглими катодами. Показано, що зміною потенціалу секцій анода можна впливати на вид вольт-амперної характеристики розряду. Проведено дослідження розподілу потенціалу між електродами комірки Пеннінга для різних підключень секцій анода, на основі яких зроблена спроба опису механізму розряду та пояснення особливостей його вольт-амперної характеристики.

This work is dedicated to studies of the discharge in Penning's cell, in which sectional anode is placed in the centre of discharge gap between two round cathodes. It is shown, that by anode sections potential varying it is possible to influence on volt-ampere characteristic of the discharge. The studies of potential distribution between the cell electrodes were carried out for different connections of anode sections. On the base of this studies the attempt to describe the discharge gear and to explain the features of volt-ampere characteristics.

**Вступ.** Розряд Пеннінга завдяки відсутності розжареного катода, можливості отримувати великі розрядні струми при низьких тисках газу застосовують у техніці високовакуумних насосів та манометрів [1], електронних та іонних гармат [2], в технології тонких плівок [3]. Основні характеристики цього розряду достатньо повно досліджені для системи електродів, у якій розряд зосереджений усередині анода. Виявлено, що залежно від індукції магнітного поля та тиску газу спостерігаються високовольтна та високострумова форми розряду [4], розподіл струму по поверхні катодів є нерівномірним з максимумом у центрі катодів, за певних умов можна отримати осциляцію цього струму [5]. Характеристики розряду значною мірою зумовлюються геометрією електродів, зокрема, відстанню між катодами [6].

З використанням комірки Пеннінга були отримані тонкі надпровідникові плівки іттрий-барієвої кераміки  $YBa_2Cu_3O_x$  з критичною температурою переходу 84 К [7]. З метою удосконалення напылення запропоновано комірку з центральним секційним анодом [8]. Показано, що при потенціалі розпилюваної секції до 100 В щодо анода, вона майже не впливає на вольт-амперну характеристику розряду та потенціал підкладки, на якій росте плівка. Становить інтерес з погляду процесів у розряді та його застосування в пристроях та технологічних установках вплив високих від'ємних потенціалів анодних секцій на вольт-амперну характеристику комірки та параметри розряду.

**Експериментальна установка.** Комірка Пеннінга (рис. 1) – це два мідних круглих катода 1 діаметром 55 мм, розташованих паралельно на відстані 40 мм, і циліндричного мідного анода 2 з п'яти ізольованих секцій завдовжки по 5 мм. Вся конструкція розміщена на суцільному ізоляторі 3. Магнітне поле створювалось кільцевими постійними магнітами 4 із самарій-кобальтового сплаву. Індукція магнітного поля на поверхні катодів 0,2 Т, в центрі між катодами над середньою анодною секцією вона становила 0,04 Т. Магніти з катодами охоплюються екранами 5 для запобігання розрядів на корпус вакуумної установки. Екрани і анод з'єднували з корпусом, додатний полюс джерела живлення розрядного струму подавався на корпус.

Вся комірка розміщена в кварцовій трубі 6, у стінку якої вмонтований мідний зонд 7 діаметром 1 мм і завдовжки 5 мм. Експерименти проводили на вакуумній установці УВР-3М.

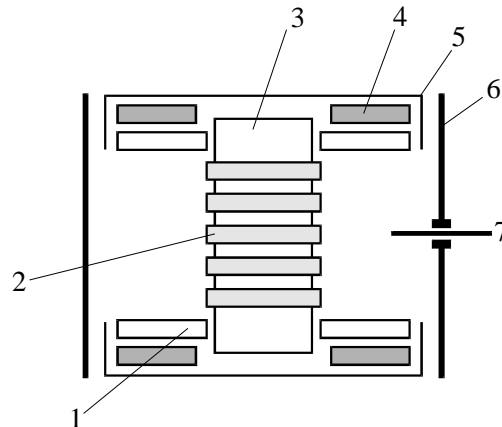


Рис. 1. Комірка Пеннінга з секційним анодом

**Результати експериментів та їх обговорення.** Були зняті вольт-амперні характеристики комірки Пеннінга при розряді в повітрі, кисні, аміаку в діапазоні тисків газу  $P = 0,09 - 0,72$  Па для нормального підключення секцій анода, тобто на усіх секціях додатний потенціал (рис. 2), і для випадку, коли середня секція з'єднана з катодами (рис. 3).

Напруга запалювання розряду залежно від тиску і виду газу становить  $U_{\text{зап}} = 450 - 700$  В. При нормальному включенні всіх анодних секцій для ідентичних умов  $U_{\text{зап}}$  на 15 – 20 % є меншою, а вольт-амперна характеристика описується типовою для магнетронних систем залежністю  $I_p = k \cdot U_p^n$ , де  $k$  – сталий коефіцієнт, а  $n \approx 1$ . Струм зонда на корпус для цього випадку є від'ємним.

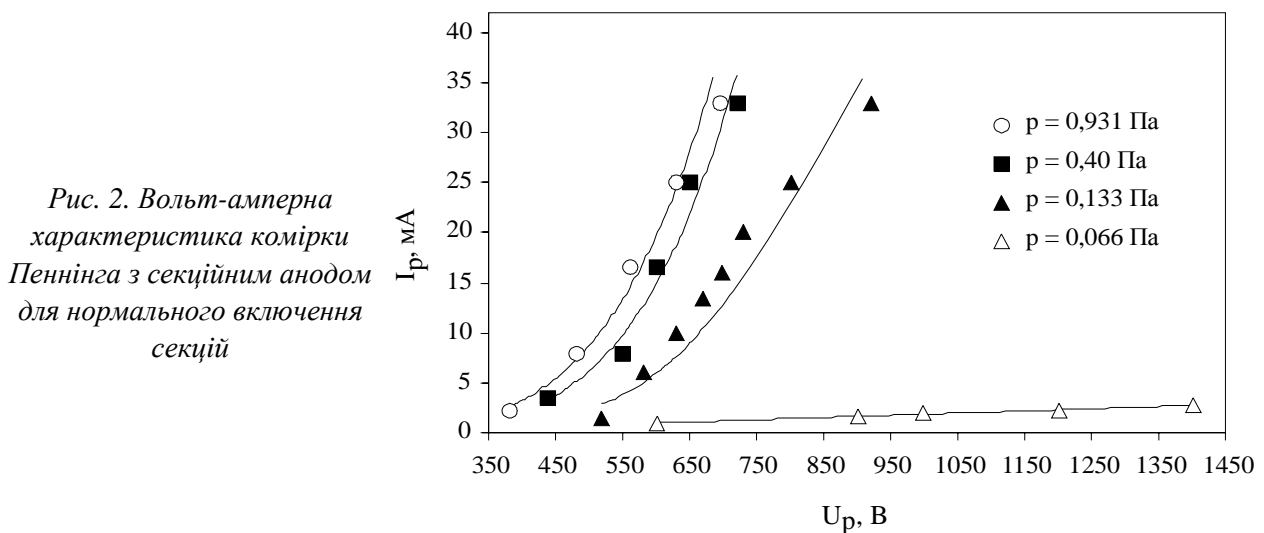


Рис. 2. Вольт-амперна характеристика комірки Пеннінга з секційним анодом для нормального включення секцій

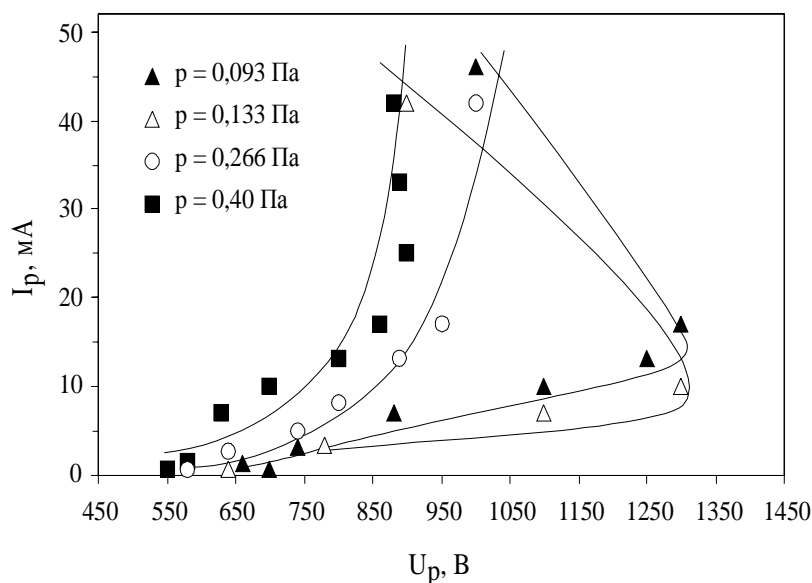


Рис. 3. Вольт-амперна характеристика комірки Пеннінга з секційним анодом, середня секція з'єднана з катодами

Світіння розряду починається біля крайніх прилеглих до катодів анодних секцій (рис. 4, а), при збільшенні напруги воно тонким шаром охоплює всі анодні секції (рис. 4, б) і при струмі 8 – 10 мА заповнює всю область між катодами, за винятком тонких смуг біля катодів (рис. 4, в). Подальше збільшення напруги призводить до зростання яскравості світіння.

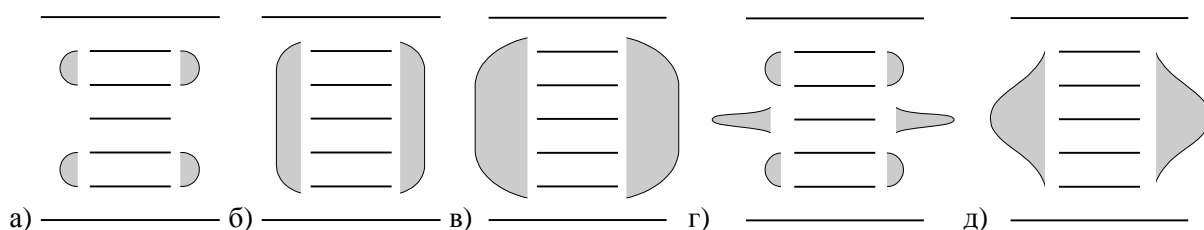


Рис. 4. Картина світіння розряду

При з'єднанні середньої анодної секції з катодами для тиску газу  $P < 0,13$  Па на вольт-амперній характеристиці з'являється ділянка малої провідності (рис. 3), на якій струм слабо залежить від напруги. Картина світіння розряду при цьому представляє собою дві невеликі ділянки біля крайніх секцій і тонке, доволі широке кільце в центрі над середньою секцією (рис. 4, г). Із збільшенням напруги струм стрибкоподібно зростає, кільце зникає, розширюється ділянки світіння біля крайніх секцій, після чого світіння заповнює весь розрядний проміжок (рис. 4, д).

Струм на зонд (рис. 5) в області стрибка струму розряду має мінімум. При збільшенні тиску газу перехід від малих струмів розряду до великих є менш чітким, мінімум зондового струму слабший.

Для з'ясування процесів у комірці методом моделювання в електролітичній ванні знімали статичний розподіл потенціалів між електродами при різних підключеннях анодних секцій (рис. 6). Видно, що подача на середню секцію потенціалу катодів призводить до утворення в центрі безградієнтної ділянки, обмеженої екіпотенціалами 550 В (рис. 6, б), в якій поздовжня  $E_z$  і радіальна  $E_r$  складові напруженості електричного поля близькі до нуля. Напруженість поля біля катодів дещо зменшується.

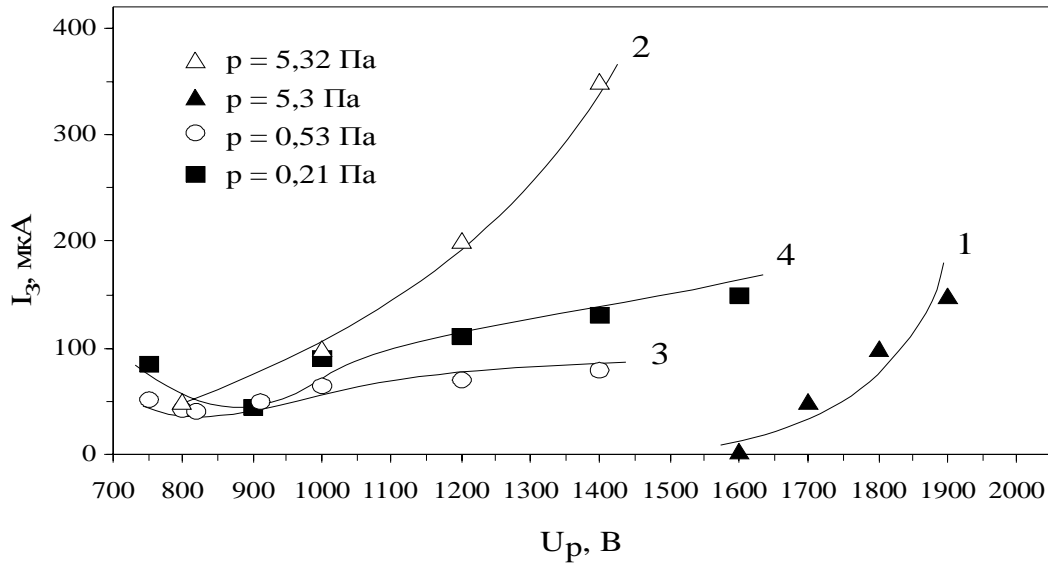


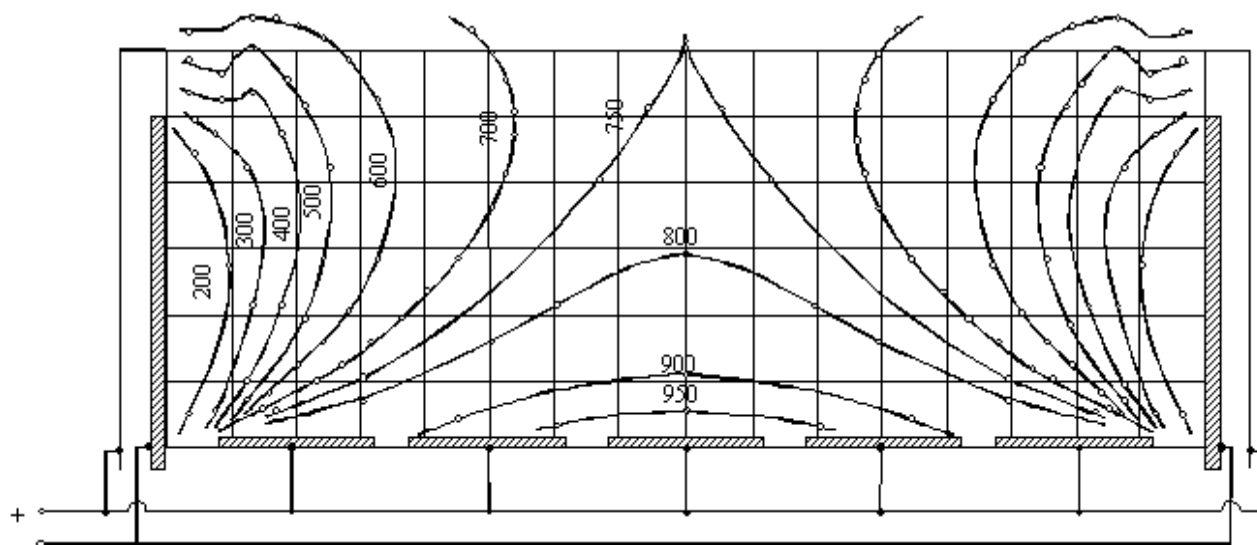
Рис. 5. Залежність струму зонда від напруги розряду:  
1 – нормальне включення анодів, 2, 3, 4 – середня секція з'єднана з катодами

Характеристики електричного розряду в комірці Пеннінга зумовлені особливостями конфігурації електричного поля і впливом на рух носіїв заряду квазікатодів – секцій анода, з'єднаних з катодами. Також потрібно врахувати неоднорідність магнітного поля, що створюється постійними магнітами. Відомо, що зменшення індукції магнітного поля діє так само, як зменшення тиску газу, тому вплив магнітного поля на інтенсивність іонізації в центрі комірки буде слабшим.

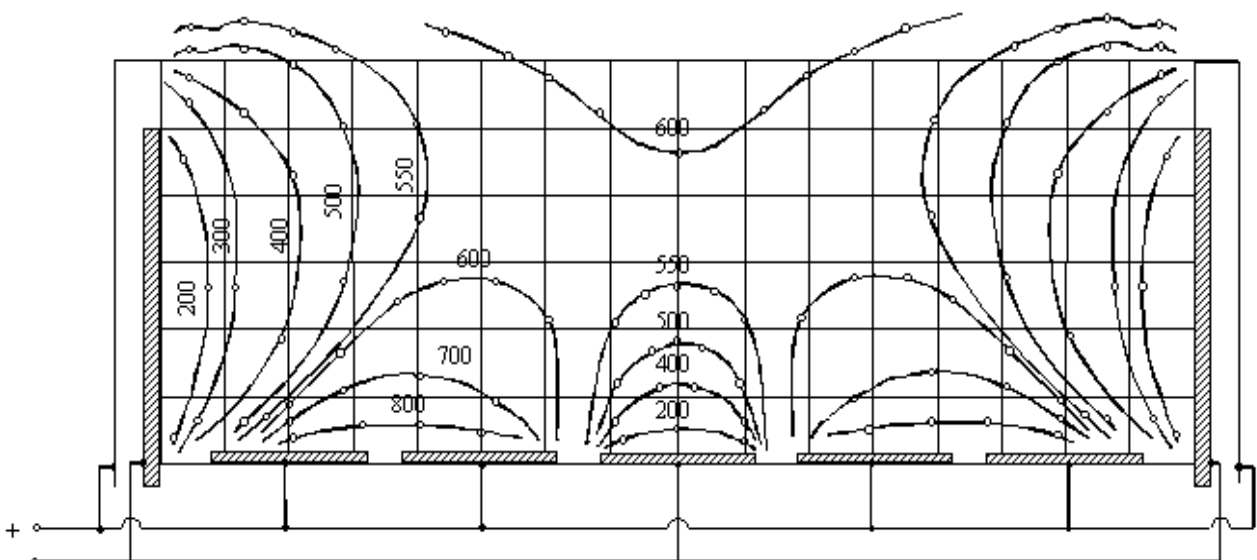
Дослідження розряду Пеннінга [9] показали наявність двох режимів, які виникають внаслідок різних швидкостей виходу електронів та іонів із розряду. Крім тиску газу, на ці швидкості впливає співвідношення між поздовжньою  $E_z$  і радіальною  $E_r$  складовими напруженості електричного поля; вони визначають коефіцієнти іонно-електронної емісії  $\gamma$  і об'ємної іонізації  $\alpha$ . Для відбивного розряду важливого значення набуває відстань між катодами. Виявлено [10], що залежність розрядного струму від відстані між катодами має максимуми.

Очевидно, що ці фактори певною мірою проявляються і в комірці Пеннінга з секційним анодом. При з'єднанні всіх секцій розряд починається в області максимальних значень електричного та магнітного полів біля прилеглих до катодів секцій. При збільшенні напруги зростає радіальна складова поля  $E_r$  біля середньої секції, розряд охоплює всю поверхню анода. Подальше збільшення напруги призводить до виникнення режиму відбивного розряду, область іонізації розповсюджується на об'єм розрядного проміжку між катодами. Зростання тиску газу призводить до збільшення кількості актів іонізації, струм розряду зростає (рис. 2).

Підключення середньої анодної секції до катодів утворює систему з проміжним квазікатодом, спричиняючи деформацію електричного поля. У центрі електрони гальмуються і виштовхуються на периферію розряду, чим можна пояснити виникнення кільця світіння над середньою секцією. Безградієнтна ділянка розрядного проміжку (рис.6, б) стає своєрідною пасткою для частинок, що народжуються там, створюється скомпенсований просторовий заряд. Область, в якій електрони можуть набрати енергію для іонізації, вузька, інтенсивність іонізації незначна, струм розряду малий. Очевидно і осциляція електронів у цьому випадку або відсутня, або проявляється дуже слабо.



а



б

Рис. 6. Розподіл потенціалів в комірці Пеннінга з секційним анодом: а – всі секції під потенціалом анода; б – середня секція під потенціалом катода

При збільшенні напруги зростає радіальна складова поля  $E_r$ , електрони, як більш рухомі частинки, витягуються із пастки, про що свідчить зменшення струму на зонд. У пастці накопичується іонний заряд, кільце зникає, значно зростає радіальна компонента поля  $E_r$  над середньою секцією. Іони прискорюються радіальним полем і бомбардують цю секцію, зумовлюючи зростання коефіцієнта  $\gamma$  в центрі і збільшення струму на зонд (рис. 5, б), різко зростає струм розряду. Тиск газу, очевидно, впливає на значення скомпенсованого заряду у пастці і в результаті на напругу переключення у режим великого струму.

Представлена картина розряду в комірці Пеннінга з секційним анодом є першою спробою пояснення його особливостей і потребує подальших досліджень. Зокрема, треба визначити роль осциляції електронів та розподіл концентрації іонів та електронів у різних режимах горіння розряду.

**Висновки.** Розряд в комірці Пеннінга з секційним анодом має особливості, зумовлені впливом потенціалів секцій на конфігурацію електричного поля. Шляхом подачі відповідних потенціалів можна міняти співвідношення між поздовжньою та радіальною складовими напруженості електричного поля в різних точках розрядного проміжку. Це дає можливість керування інтенсивністю іонізації в заданих точках при використанні комірки як плазмового джерела іонів або електронів [11]. Підключення середніх секцій анода до катодів дозволяє також використовувати цей розряд для отримання тонких плівок. Важливо, що в цьому випадку основним джерелом постачання матеріалу плівок може бути анодна секція, а не катоди.

1. Васильев Г.А. *Магниторозрядные насосы*. М., 1970. 2. Габович М.Д., Плешивцев Н.В., Семашко Н.Н. *Пучки ионов и атомов для управляемого термоядерного синтеза*. М., 1986. 3. Битнер Л.Р., Ведерников В.А., Данилина Т.И., Маняхина Г.В., Шандра З.А. // *Изв. ВУЗов. Физика*, 1976, № 12, С. 11 – 15. 4. Габович М.Д. *Физика и техника плазменных источников ионов*. М., 1972. 5. Каганский М.Г., Каминский Д.А., Ключарев А.Н. // *ЖТФ*, 1964, № 6, С. 1090 – 1056. 6. Баберцяня Р.П., Бадалян Э.С., Егназарян Г.А., Тер-Геворкян Э.И. // *ЖТФ*, 1998, № 9, С. 29 – 32. 7. Агафонникова Е.В., Шандра З.А. // *Сверхпроводимость: физика, химия, техника*, 1992, № 1, С. 123 – 127. 8. Шандра З.А. // *Вісник ДУ “Львівська політехніка”*, 1999, № 382, С. 56 – 60. 9. Рейхрудель Э.М., Смирницкая Г.В., Нгуен Хиу Ти // *ЖТФ*, 1969, №6, С. 1052 – 1060. 10. Баберцяня Р.П., Бадалян Э.С., Егназарян Г.А., Тер-Геворкян Э.И., Оганнисян В.Н. // *ЖТФ*, 2000, № 4, С. 24 – 28. 11. Крейнделъ Ю.Е. *Плазменные источники электронов*. М., 1977.