



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **93531** (13) **U**
(51) МПК (2014.01)
H01L 21/00
C23C 14/34 (2006.01)

ДЕРЖАВНА СЛУЖБА
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ
УКРАЇНИ

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

(21) Номер заявки:	u 2014 03036	(72) Винахідник(и):	Семенюк Валерій Федорович (UA), Веремійченко Георгій Микитович (UA)
(22) Дата подання заявки:	25.03.2014	(73) Власник(и):	ТОВАРИСТВО З ОБМЕЖЕНОЮ ВІДПОВІДАЛЬНІСТЮ "ГРЕСЕМ ІНОВЕЙШН", вул. Пожарського, 9, м. Київ, 02094 (UA)
(24) Дата, з якої є чинними права на корисну модель:	10.10.2014	(74) Представник:	Ортинська Марія Юріївна, реєстр. №358
(46) Публікація відомостей про видачу патенту:	10.10.2014, Бюл.№ 19		

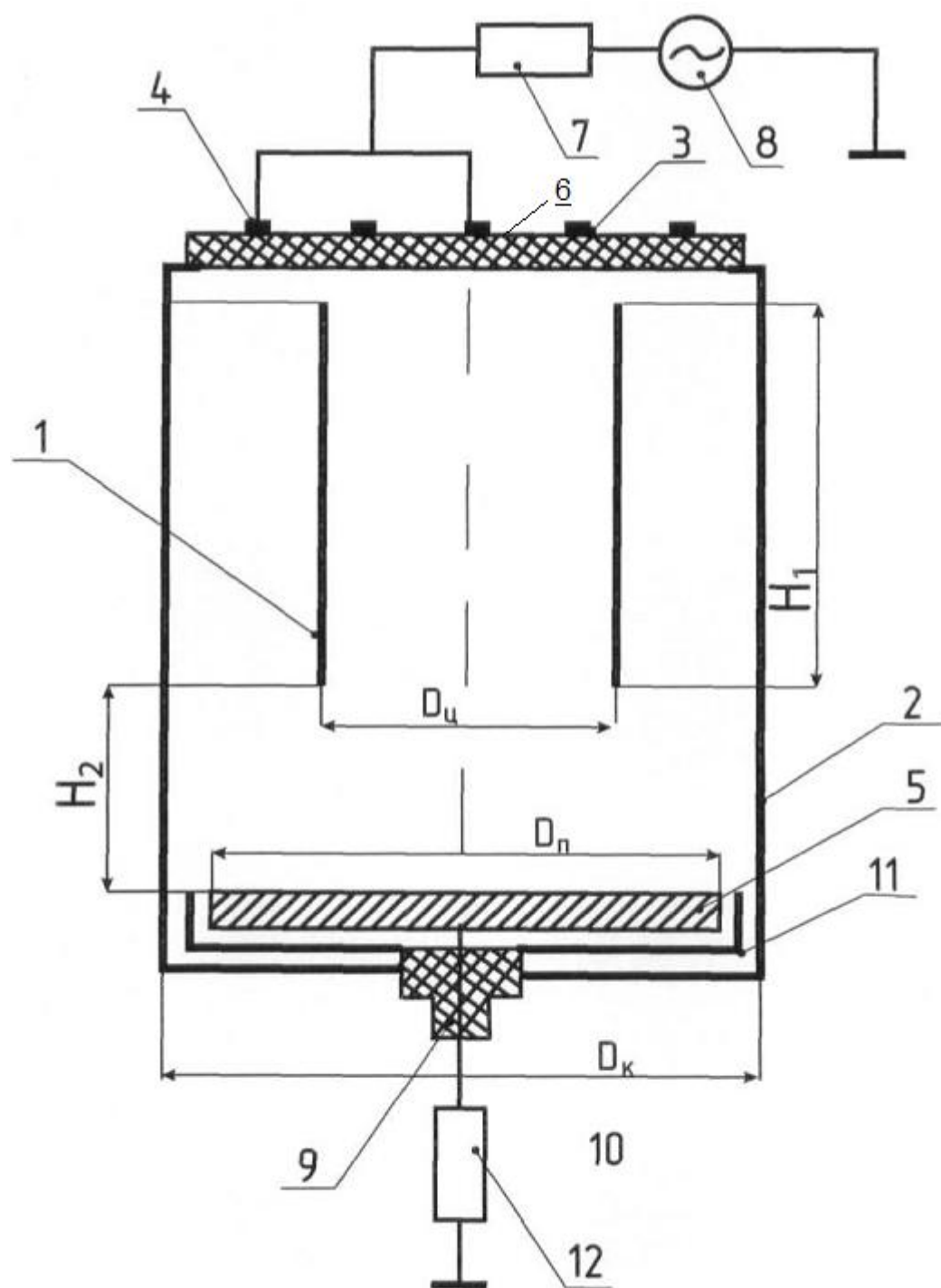
(54) ПРИСТРІЙ З АКсіАЛЬНИМИ ПЛАЗМОВИМИ РЕЗОНАТОРАМИ

(57) Реферат:

Плазмовий технологічний пристрій містить вакуумну камеру з системою напуску та контролю газів, в верхній частині якої вісесиметрично розташоване діелектричне вікно з антеною, яка з'єднана з ВЧ генератором через пристрій узгодження, в нижній частині камери розташований тримач з підкладкою, з можливістю підключення до джерела живлення, ззовні камера охоплена магнітною системою з двох соленоїдальних елементів. В просторі між діелектричним вікном та підкладкою вісесиметрично встановлено циліндричний порожнистий електрод, діаметр якого визначають із співвідношення.

При цьому його висота визначається вкороченою довжиною хвилі основної частоти в плазмі, а відстань між площиною підкладки та вихідним зрізом циліндричного порожнистого електрода встановлюється за співвідношенням.

UA 93531 U



Фиг. 1

Корисна модель належить до технологічного обладнання для виробництва виробів електронної техніки, мікротехніки та машинобудування.

Найбільш ефективно запропонована корисна модель може бути використана для прецизійних процесів травлення, видалення фоторезисту, нанесення тонких та товстих плівок на підкладках великих розмірів та одержання топології елементів на напівпровідникових структурах з мінімальними розмірами менше ніж 0,1 мкм в приладах мікроелектроніки, наноелектроніки, мікромеханіки та в інтегральних схемах НВЧ.

Відомі плазмові пристрої на основі геліконних розрядів, які використовуються для обробки підкладок різних матеріалів з високою рівномірністю [J.R. Rayner and A.D. Cheetham. Helicon modes in cylindrical plasma source. Plasma Sources Sci. Technol. 8 (1999) 79-87]. Плазмовий пристрій містить в собі циліндричний вакуумний об'єм, виконаний з кварцової трубки діаметром 10 см. Аксіальне магнітне поле всередині камери створюється двома соленоїдальними елементами. Геліконні моди різних типів збуджувались в об'ємі плазмового пристрою за допомогою антени, на яку через узгоджувальний блок подавалась ВЧ енергія від генератора з частотою 13,56 МГц. Моди, які збуджувались в циліндричному об'ємі, автори роботи класифікували як НО, НІ, НІІ, НІІІ. Кожна мода, що збуджувалась в об'ємі, залежала від тиску, індукції магнітного поля та ВЧ потужності, яка подавалась на зовнішню антену пристрою. Найбільш висока типова густина плазми створювалась при тиску 0,2 Па, магнітному полі 200-400 G та ВЧ потужності 2,1 кВт та становила $(8-10 \cdot 10^{12} \text{ см}^{-3})$. Таким чином, плазмові пристрої на основі геліконного розряду дають змогу підняти густину плазми, вихід іонів та радикалів на підкладку, а також збільшити ефективність передачі ВЧ енергії в розряд. Незважаючи на високі технологічні параметри розглянутого пристрою, йому притаманний такий недолік як нерівномірність густини плазми в площині підкладки. Так, наприклад, при роботі на моді НІІ вздовж осі камери утворюється стовп плазми рівномірної високої концентрації, який займає 60 % перерізу технологічної камери.

Найбільш близьким до моделі, що заявляється, є технічне рішення [Пат. 2483501 С2 Россия. МПК Н05Н 1/10. Плазменный реактор с магнитной системой. Короташ Н.В, Руденко Э.М, Семенюк В.Ф., Одинокое В.В, Павлов П.Я, Сологуб В.А. Заявл. 16.12.2010. Опубл. 27.06.2012]. Пристрій складається з циліндричної вакуумної камери, яка оснащена засобами відкачки та газовою системою. Верхня частина камери закрита діелектричним вікном, на верхній площині якого встановлена спіральна антена, що з'єднана з ВЧ генератором. Всередині камери вісесиметрично розміщені ізолюваний порожнистий циліндричний електрод та тримач з підкладкою, які з'єднані з окремими ВЧ генераторами. Аксіальне магнітне поле всередині камери створювалось соленоїдальними елементами, які розміщались ззовні камери. Плазма високої густини в площині підкладки створювалась за допомогою геліконного або ємнісного розрядів. Плазмовий реактор міг функціонувати при одночасній роботі двох розрядів. Досягнуто технічний результат - підвищення швидкості і рівномірності обробки підкладок із різноманітних матеріалів. При обробці напівпровідникових підкладок мінімізовані дефекти на поверхні та в об'ємі напівпровідникових структур.

Незважаючи на високі технологічні параметри, цей реактор має наступні недоліки:

1. Зменшення густини плазми на один порядок в площині підкладки по відношенню до густини в площині діелектричного вікна.

2. Розпилення порожнистого циліндричного електрода та забруднення його матеріалом поверхні підкладки, яка обробляється.

3. Наявність двох ВЧ генераторів (для індуктивного та ємнісного збудження) створює складнощі при проведенні технологічних процесів.

Задачею корисної моделі, що заявляється, є вдосконалення пристрою плазмової обробки, в якому відсутні зазначені вище недоліки. Таким чином, в плазмовому технологічному пристрої, що містить в собі вакуумну камеру з системою напуску та контролю газів, в верхній частині якої вісесиметрично розташоване діелектричне вікно з антеною, яка з'єднана з ВЧ генератором через пристрій узгодження, в нижній частині камери розташований тримач з підкладкою, що може бути підключений до джерела живлення, ззовні камера охоплена магнітною системою з двох соленоїдальних елементів, згідно з корисною моделлю, в просторі між діелектричним вікном та підкладкою вісесиметрично встановлено циліндричний порожнистий електрод, діаметр $D_{\text{ц}}$ якого визначений наступним співвідношенням:

$$D_{\text{ц}} = \frac{D_{\text{к}}}{2 + \left[1 - \frac{P_{\text{мл}} H_1 K_1}{2 D_{\text{к}}} \right]^{\frac{1}{2}}},$$

де:

D_K - діаметр технологічної камери, (м);

P_{ml} - корінь рішення рівняння Бесселя m -го порядку, (безрозм.);

H_1 - висота циліндричного порожнистого електрода, (м);

5 K_1 - коефіцієнт корекції підняття концентрації плазми на периферії підкладки, (безрозм.);

При цьому його висота H_1 визначається вкороченою довжиною хвилі основної частоти в плазмі

$$H_1 = n \frac{c}{f \sqrt{\epsilon_0 \left(1 - \frac{\omega_p^2}{\omega^2} \right)}},$$

де:

10 $n = 1, 2, 3, \dots$ - послідовність цілих чисел;

c - швидкість світла в вакуумі (299792458 м/с);

f - частота ВЧ генератора, Гц;

$\omega = 2\pi f$ - кругова частота ВЧ генератора, (с^{-1});

$\omega_p = \sqrt{\frac{4\pi e^2 n_e}{m}}$ - плазмова кругова частота, (с^{-1});

15 e - заряд електрона, ($1,602 \cdot 10^{-19}$ Кл);

n_e - густина плазми, (м^{-3});

m - маса електрона, ($9,109 \cdot 10^{-31}$ кг);

ϵ_0 - діелектрична стала, ($8,854 \cdot 10^{-12}$ Ф/м).

20 Новими відмінними ознаками, які має технічне рішення, що заявляється, є: наявність вісесиметрично розміщеного порожнистого циліндричного електрода визначеної висоти та діаметра, та відстань від нижнього зрізу електрода до поверхні підкладки, яка визначається певним співвідношенням.

Це забезпечує відповідність технічного рішення, що заявляється, критерію "новизна".

25 Виконання плазмового технологічного пристрою з ознаками, що заявляються, дає можливість отримати технічний результат - досягти високу густину плазми в площині підкладки з високою рівномірністю на діаметрі 200 мм.

Можливість здійснення корисної моделі та доказ ознак, що заявляються, підтверджується наступним графічним матеріалом:

30 Фіг. 1 - Схематичне зображення технологічного пристрою з аксіальними плазмовими резонаторами.

Фіг. 2 - Еквівалентна електрична схема пристрою з плазмовими резонаторами.

Фіг. 3 - Радіальні розподіли іонного струму в площині підкладки для аналога та пристрою, що заявляється.

35 Для доказу відмінних суттєвих ознак, що заявляються, звернемося до малюнку Фіг. 1. Аксіально симетричний електрод у вигляді порожнистого циліндра 1 розміщений на вісі камери 2. За допомогою антен 3 та 4 збуджувались розряди геліконного типу в об'ємі порожнистого електрода та в об'ємі, утвореному зовнішньою стінкою порожнистого електрода та внутрішньою стінкою технологічної камери. Внутрішній об'єм порожнистого електрода є плазмовий циліндричний резонатор з відкритим нижнім зрізом. Об'єм між циліндричними поверхнями порожнистого електрода 1 та внутрішньою поверхнею камери 2 являє собою плазмовий коаксіальний резонатор, відкритий з нижнього кінця. Об'єм утворений нижнім зрізом порожнистого електрода 1, поверхнею підкладки 5 та внутрішньою стінкою камери також розглядаємо як плазмовий циліндричний резонатор.

45 На Фіг. 2 показана синтезована еквівалентна електрична схема трьох аксіальних плазмових резонаторів. Імпеданси коаксіального та циліндричного плазмового резонаторів підключених між собою паралельно, позначаються як Z_K та $Z_{\text{ц}}$. Імпеданс плазмового циліндричного резонатора, закритого зі сторони підкладки, позначено як Z_n . Через Z_{A1} та Z_{A2} позначені імпеданси антен, які збуджують геліконні моди в паралельно з'єднаних плазмових резонаторах.

50 Згідно з джерелом [Рамо и Уинери. Поля и волны в современной радиотехнике. 1949 г. М., Гос. изд-во технико-теорет. лит.] імпеданс циліндричного хвилеводу діаметром $D_{\text{ц}}$:

$$Z_{\text{ц}} = \frac{1}{4\pi} \frac{P_{\text{мл}} \cdot H_1}{\frac{D_K}{2}} \sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0 \left(1 - \frac{\omega_p^2}{\omega^2}\right)}}, \quad (1)$$

де:

$P_{\text{мл}}$ - корінь рішення рівняння Бесселя;

m - число, яке характеризує варіанти поля вздовж круглого периметра хвилеводу;

5 l - число варіантів поля по радіусу хвилеводу.

Для знаходження величини імпедансу коаксіальної лінії передач використаємо джерело [А.М. Чернушенко и др. Конструирование экранов и СВЧ устройств М., "Радио и связь", 1990 г].

$$Z_{\text{н}} = \frac{1}{2\pi} \ln \frac{D_K}{D_{\text{ц}}} \sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0 \left(1 - \frac{\omega_p^2}{\omega^2}\right)}}, \quad (2)$$

10 Позначимо через $x = \frac{D_K}{D_{\text{ц}}}$.

В пристрої, що заявляється, $\frac{D_K}{D_{\text{ц}}} = 2$, тоді при $x \leq 2$ скористаємося розкладом логарифмічної функції в ряд [Т.Б. Двайт. Таблица интегралов и другие математические формулы. Из-во "Наука", М, 1973]:

$$\ln x = (x-1) - \frac{(x-1)^2}{2} + \frac{(x-1)^3}{3} - \frac{(x-1)^4}{4}. \quad (3).$$

15

Обмежимося двома членами розкладу:

$$\ln x = x - 1 - \frac{x^2}{2} + x - \frac{1}{2} = \frac{-x^2 + 4x - 3}{2} \quad (4).$$

20

Для забезпечення високої рівномірності густини плазми в вихідному зрізі двох плазмових резонаторів необхідне виконання співвідношення:

$$Z_K = Z_{\text{ц}} \cdot K \quad (5),$$

де:

25 K - корегуючий коефіцієнт, який збільшує імпеданс циліндричного плазмового резонатора та збільшує потік ВЧ енергії через коаксіальний резонатор, що приводить до підвищення густини плазми на периферії технологічної камери.

Позначимо:

$$\sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0 \left(1 - \frac{\omega_p^2}{\omega^2}\right)}} = \eta \quad (6)$$

30

Тоді вираз (5) матиме вигляд:

$$\frac{1}{2\pi} \left[\frac{-x^2 + 4x - 3}{2} \right] \eta = \frac{P_{\text{мл}} \cdot H_1}{4\pi \frac{D_K}{2}} \cdot K \cdot \eta,$$

який перетворюється в квадратне рівняння:

$$D_{\text{ц}}^2 \left(\frac{P_{\text{мл}} \cdot H_1 \cdot K}{2D_K} + 3 \right) - 4D_K \cdot D_{\text{ц}} + D_K^2 = 0 \quad (7).$$

Після розв'язання (7) відносно $D_{\text{ц}}$ одержуємо:

$$D_{\text{ц}} = \frac{D_K}{2 + \left(1 - \frac{P_{\text{мл}} \cdot H_1 \cdot K}{2D_K} \right)^{\frac{1}{2}}} \quad (8)$$

Для існування геліконних мод в коаксіальному та циліндричному плазмових резонаторах необхідно щоб по висоті H_1 вміщувалось ціле число n хвиль основної частоти f , довжини яких вкорочуються в плазмовому середовищі. Тоді висота H_1 буде визначатись виразом:

$$H_1 = n \frac{c \cdot 2\pi}{\omega \sqrt{\varepsilon_0 \left[1 - \left(\frac{\omega_p}{\omega} \right)^2 \right]}} \quad \text{або} \quad (9)$$

$$H_1 = n \frac{c}{f \sqrt{\varepsilon_0 \left(1 - \frac{\omega_p^2}{\omega^2} \right)}}$$

Для ефективного проходження ВЧ енергії геліконних мод до площини підкладки необхідно виконання співвідношення:

$$Z_n = \frac{Z_K \cdot Z_{\text{ц}}}{Z_K + Z_{\text{ц}}} \quad (10)$$

Звідки відстань між поверхнею підкладки та нижнім зрізом порожнистого циліндричного електрода:

$$H_2 = \frac{2\pi \cdot \ln \frac{D_K}{D_{\text{ц}}} \cdot \frac{H_1}{D_{\text{ц}}}}{\ln \frac{D_K}{D_{\text{ц}}} + \frac{P_{\text{мл}} \cdot H_1}{D_{\text{ц}}}} \quad (11)$$

Таким чином, суттєві ознаки корисної моделі, що заявляється, які визначаються присутністю в технологічній камері аксіального циліндричного порожнистого електрода, діаметр і висота якого визначаються співвідношенням (8) та (9), та його розміщення по відношенню до поверхні підкладки співвідношенням (11), дають змогу одержати в площині підкладки плазму високої густини з високою рівномірністю по радіусу.

Схематичне зображення варіанта виконання пристрою з аксіальними плазмовими резонаторами показані на Фіг. 1.

Циліндричний порожнистий електрод 1 закріплений аксіально в камері 2 за допомогою ізоляторів, які не показані на кресленні. Спиральні антени 3 та 4 встановлені на діелектричному вікні 6. Антени через пристрій узгодження 7 з'єднані з ВЧ генератором 8. Підкладка 5 з тримачем 9 за допомогою ізолятора 10 закріплена в нижній частині камери 2. Для стабілізації технологічних процесів плазмової обробки підкладка захищена екраном 11. Для управління умовами росту плівок або прецизійного травлення на підкладку подається необхідний потенціал

зміщення від джерела 12. Для спрощення соленоїдальні елементи магнітної системи на Фіг. 1 не показані.

Пристрій з аксіальними плазовими резонаторами працює наступним чином. Після відкачування технологічної камери до високого вакууму, напуску інертного газу до тиску $p = 1 \cdot 10^{-2}$ мм рт.ст., включення магнітної системи на антени 3 та 4 подається ВЧ потужність через пристрій узгодження від генератора 8. Після збудження індукційного розряду в об'ємах коаксимального та циліндричного резонаторів змінюються параметри.

ФОРМУЛА КОРИСНОЇ МОДЕЛІ

1. Плазовий технологічний пристрій, що містить вакуумну камеру з системою напуску та контролю газів, в верхній частині якої вісесиметрично розташоване діелектричне вікно з антеною, яка з'єднана з ВЧ генератором через пристрій узгодження, в нижній частині камери розташований тримач з підкладкою, з можливістю підключення до джерела живлення, ззовні камера охоплена магнітною системою з двох соленоїдальних елементів, який **відрізняється** тим, що в просторі між діелектричним вікном та підкладкою вісесиметрично встановлено циліндричний порожнистий електрод, діаметр D_c якого визначений наступним співвідношенням:

$$D_c = \frac{D_K}{2 + \left[1 - \frac{P_{ml} H_1 K_1}{2 D_K} \right]^2},$$

де:

D_K - діаметр технологічної камери, (м);

P_{ml} - корінь рішення рівняння Бесселя m -го порядку, (безрозм.);

H_1 - висота циліндричного порожнистого електрода, (м);

K_1 - коефіцієнт корекції підняття концентрації плазми на периферії підкладки, (безрозм.),

причому його висота H_1 визначається вкороченою довжиною хвилі основної частоти в плазмі

$$H_1 = n \frac{c}{f \sqrt{\epsilon_0 \left(1 - \frac{\omega_p^2}{\omega^2} \right)}},$$

де:

$n = 1, 2, 3, \dots$ - послідовність цілих чисел;

c - швидкість світла в вакуумі (299792458 , м/с);

f - частота ВЧ генератора, (Гц);

$\omega = 2\pi f$ - кругова частота ВЧ генератора;

$\omega_p = \sqrt{\frac{4\pi e^2 n_e}{m}}$ - плазова кругова частота, (s^{-1});

e - заряд електрона, ($1,602 \cdot 10^{-19}$ Кл);

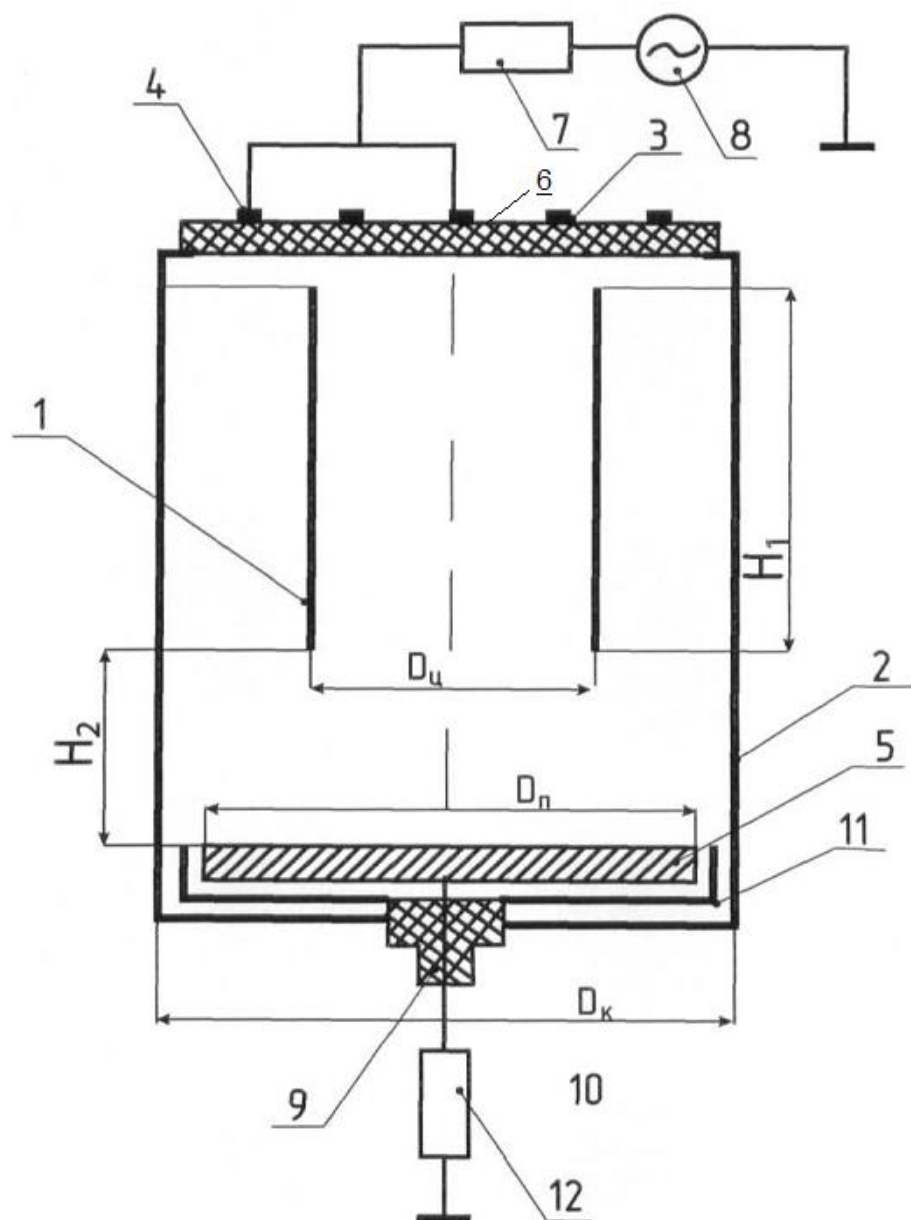
n_e - густина плазми, (m^{-3});

m - маса електрона, ($9,109 \cdot 10^{-31}$ кг);

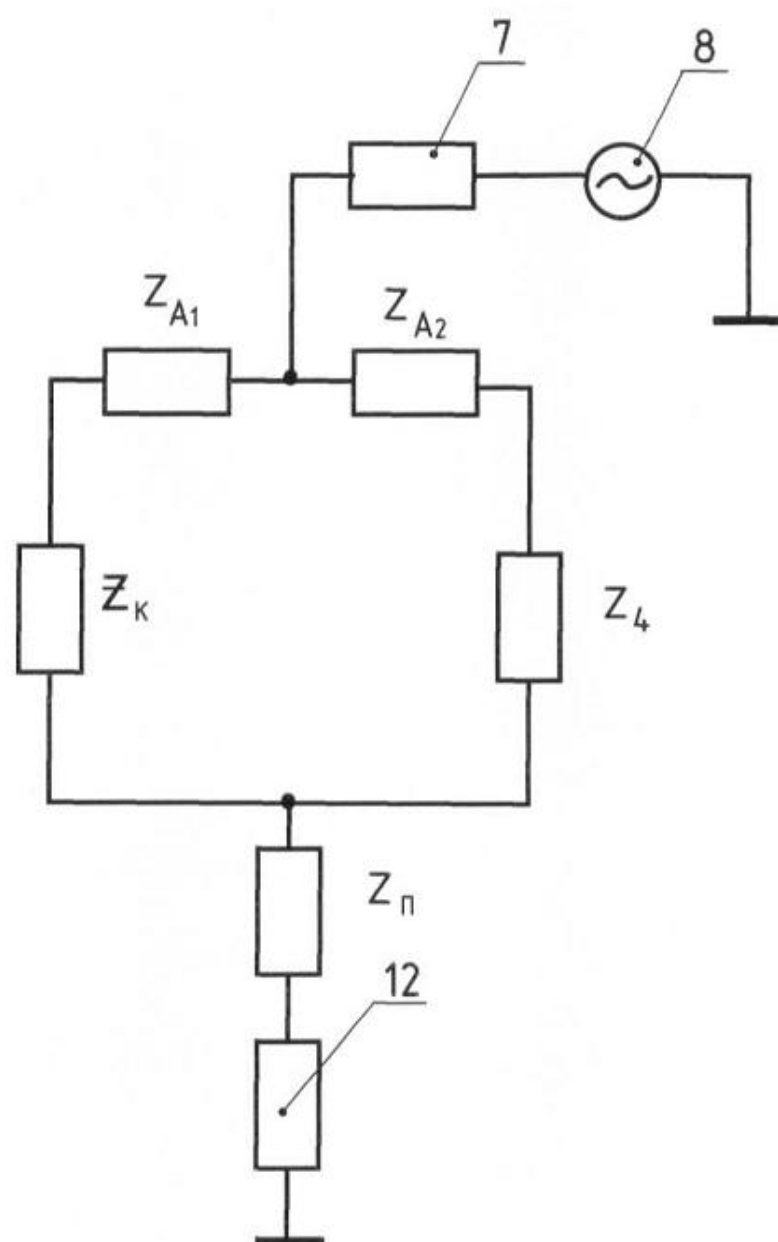
ϵ_0 - діелектрична стала, ($8,854 \cdot 10^{-12}$ Ф/м),

а відстань H_2 між площиною підкладки та вихідним зрізом циліндричного порожнистого електрода встановлюється наступним співвідношенням:

$$H_2 = \frac{2\pi \cdot D_K^2 \ln \frac{D_K}{D_c} \cdot \frac{H_1}{D_c}}{D_c \left(\ln \frac{D_K}{D_c} + \frac{P_{ml} H_1}{D_c} \right)}.$$



Фиг. 1



Фиг. 2

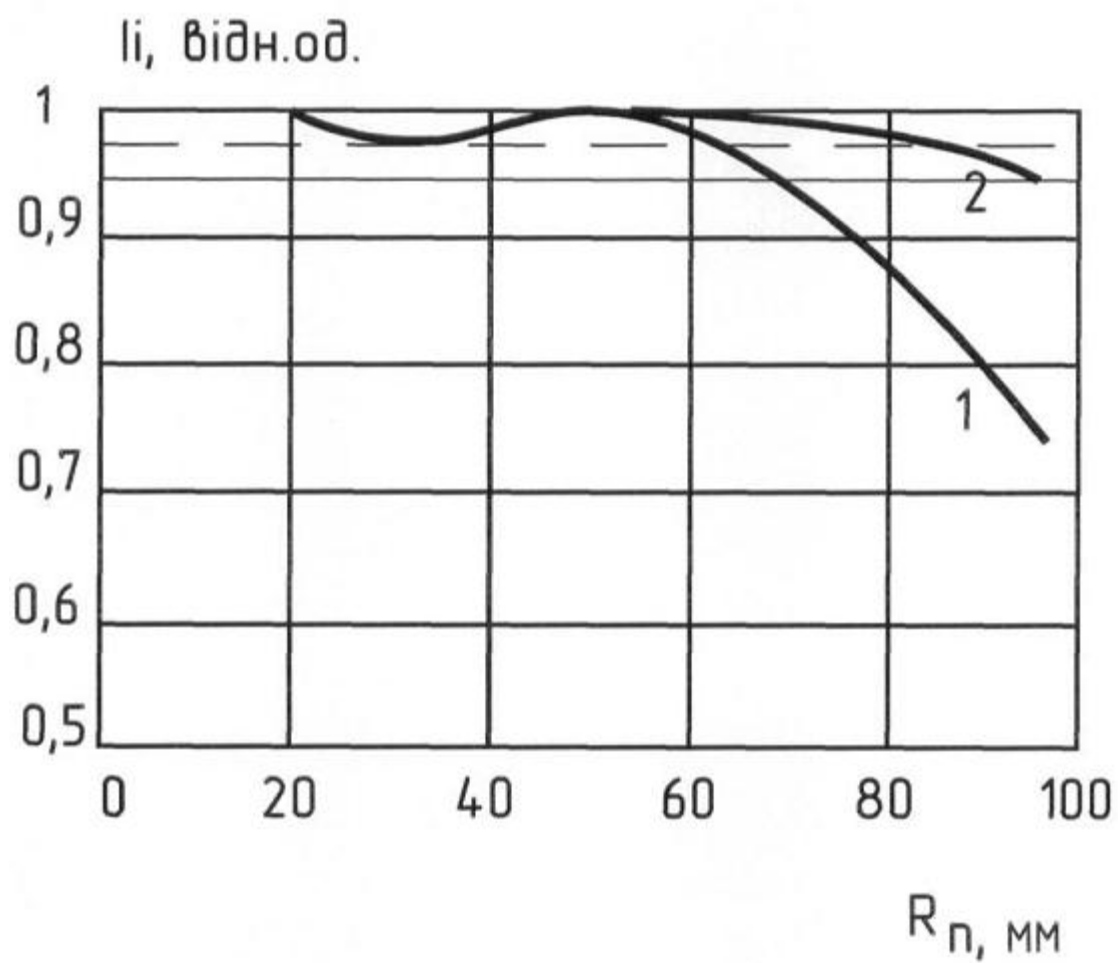


Fig. 3

Комп'ютерна верстка М. Мацело

Державна служба інтелектуальної власності України, вул. Урицького, 45, м. Київ, МСП, 03680, Україна

ДП "Український інститут промислової власності", вул. Глазунова, 1, м. Київ – 42, 01601