

H05H 1/24 (2006.01)
H05H 1/34 (2006.01)
H05H 1/46 (2006.01)
H05H 1/00 (2006.01)

(19)
ČESKÁ
REPUBLIKA



ÚŘAD
PRŮMYSLOVÉHO
VLASTNICTVÍ

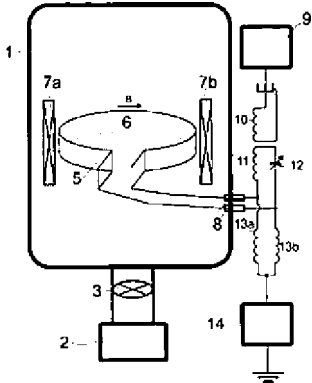
(21) Číslo přihlášky: 2018-555
(22) Přihlášeno: 17.10.2018
(40) Zveřejněno: 20.05.2020
(Věstník č. 21/2020)
(47) Uděleno: 31.07.2024
(24) Oznámení o udělení ve věstníku: 11.09.2024
(Věstník č. 37/2024)

(56) Relevantní dokumenty:
JP H06112167 A.; JP H0684844 A.; WO 0165895 A.; KR 20180066922] A.; DE 10008485 A.,.

(73) Majitel patentu:
Fyzikální ústav AV ČR, v. v. i., Praha 8, Libeň, CZ
(72) Původce:
Mgr. Martin Čada, Ph.D., Praha 8, Libeň, CZ
Mgr. Zdeněk Hubička, Ph.D., Praha 8, Libeň, CZ
(74) Zástupce:
Mgr. Karel Bauer, patentový zástupce, Urešova
1266/2, 148 00 Praha 4, Kunratice

(54) Název vynálezu:
**Zařízení pro vytváření vysokofrekvenčního
plazmového výboje s elektronovou
cyklotronovou vlnovou rezonancí**

(57) Anotace:
Předkládaný vynález řeší technický problém modulace potenciálu ECWR výboje (6), resp. nízkotlakého a nízkoteplotního plazmatu, zejména s ohledem na vliv kinetické energie atomů či molekul, resp. iontů, urychlených na relativně vysokou energii v rozmezí jednotek eV až desítek eV. V jistém provedení představuje vynález zařízení pro vytváření ECWR výboje (6) obsahující zdroj (9) vysokofrekvenčního napětí, který je induktivně vázaný s vysokofrekvenční elektrodou (5) přes elektrický obvod cívek a kondenzátorů, kde podstata spočívá v tom, že vysokofrekvenční elektroda (5), výhodně pásková elektroda, je dále připojena k externímu zdroji (14) napětí přes soustavu cívek, přičemž soustava cívek je paralelně připojena k vysokofrekvenční elektrodě (5).



Zařízení pro vytváření vysokofrekvenčního plazmového výboje s elektronovou cyklotronovou vlnovou rezonancí

5 Oblast techniky

Vynález spadá do oblasti generování vysokofrekvenčního plazmového výboje s elektronovou cyklotronovou vlnovou rezonancí (ECWR) a nízkotlakého a/nebo nízkoteplotního plazmatu, které se používá na depozice tenkých vrstev pomocí metod plazmového naprašování, plazmové depozice z par chemických prekurzorů, plazmové depozice jednotlivých atomárních vrstev, pro plazmové leptání nebo jako plazmový zdroj svazků iontů. Vynález se konkrétně týká modulace potenciálu výboje, resp. vytvořeného plazmatu a následného urychlení iontů, vyskytujících se v plazmatu, směrem k deponované vrstvě, aniž by bylo zapotřebí přikládat jakékoliv předpětí na deponovanou vrstvu.

15

Dosavadní stav techniky

V současné době existuje mnoho různých nízkotlakých plazmových systémů vhodných pro technologické aplikace depozice tenkých vrstev. Pojem tenká vrstva je odborníkovi v oboru známý, nicméně zde uvádíme typické hodnoty tloušťky vrstvy, které jsou považovány za tenké. Rozsah tloušťky pro tenkou vrstvu činí od jednotek nanometrů do několika desítek mikrometrů.

Nízkotlaké plazmové systémy jsou bohatě využívány při přípravě např. kovových, polovodičových nebo dielektrických tenkých vrstev pro použití v polovodičovém průmyslu až po přípravu tvrdých vrstev pro strojírenské aplikace.

Ukazuje se, že vlastnosti deponovaných tenkých vrstev lze zásadním způsobem ovlivnit energií dodávanou na podložku a to nejlépe atomy či molekulami urychlenými na relativně vysokou energii v rozmezí jednotek eV až desítek eV. Energie dodaná dopadajícími částicemi na rostoucí vrstvu pomáhá lepší difúzi atomů po povrchu materiálu, umožňuje zlepšit krystalickou strukturu látky, potlačit nebo záměrně vyvolat defekty ve struktuře látky nebo potlačit napětí v materiálu. Příklady vlivu energie iontů dopadajících na podložku byly diskutovány v nepatentových dokumentech: A. Neugebauer, Condensation, Nucleation, and Growth of Thin Films, in Handbook of Thin Film Technology, edited by L.I. Maissel and R. Glang, McGraw-Hill, New York 1970; J.E. Greene, Physics of Film Growth from the Vapor Phase, in Multicomponent and Multilayered Thin Films for Advanced Technologies: Techniques, Fundamentals, and Devices, ed. by O. Auciello, NATO Advanced Study Institute, Kluwer Academic Publishers, Boston 1993; K.H. Müller, Film Growth Modification by Concurrent Ion Bombardment: Theory and Simulation, in Handbook of Ion-Beam Processing Technology, edited by J.J. Coumo, S.M. Rossmagel, and H.R. Kaufman, Noyes Publications, Park Ridge, New Jersey 1989; I. Petrov, P.B. Barna, L. Hultman, J.E. Greene, Microstructural evolution during film growth JVST A21, S117 (2003).

V minulosti byl pro generaci (způsob vytváření) nízkotlakého plazmatu vyvinut vysokofrekvenční induktivně vázaný systém umístěný ve stacionárním magnetickém poli. Uvnitř vysokofrekvenční elektrody je generována elektronová cyklotronová elektromagnetická vlna s pravotočivou kruhovou polarizací a s kruhovou frekvencí ω , která se šíří ve směru vektoru vloženého stacionárního magnetického pole B . Tento typ nízkotlakého plazmatu se v literatuře označuje jako vysokofrekvenční plazmový zdroj s elektronovou cyklotronovou vlnovou rezonancí, dále referováno jako ECWR zdroj plazmatu. Detailní popis generace ECWR výboje je popsán v nepatentových dokumentech: B. Pfeiffer, Skin Effect in Anisotropic Plasmas and Resonance Excitation of Electron-Cyclotron Waves. I. Theory, J. Appl. Phys. 7, 1624 (1966); B. Pfeiffer, Skin Effect in Anisotropic Plasmas and Resonance Excitation of Electron-Cyclotron Waves. II. Experiments, J. Appl. Phys. 37, 1628 (1966); H. Oechsner, Electron Cyclotron Wave

Resonances and Power Absorption Effects in Electrodeless Low Pressure H.F. Plasmas with a Superimposed Static Magnetic Field, Plasma Physics 16, 835 (1974).

5 Z výše uvedených dokumentů je patrné, že cyklotronová vlna je generována v obdélníkovém nebo kruhovém páskovém závitě, který představuje vysokofrekvenční elektrodu, s délkou strany nebo průměrem d ve směru vektoru přiloženého magnetického pole B . Elektronová cyklotronová elektromagnetická vlna s pouze pravotočivou kruhovou polarizací se šíří magnetovaným plazmatem podél směru přiloženého stacionárního vektoru magnetické indukce B na kruhových frekvencích ω nižších než je cyklotronová frekvence elektronů ω_c v aplikovaném stejnosměrném magnetickém poli a také na frekvencích nižších než je elektronová plazmová frekvence plazmatu ω_p daná elektronovou koncentrací n_e podle vztahu:

$$\omega_p = \sqrt{\frac{n_e e^2}{\epsilon_0 m_e}} \quad (1)$$

15

kde e je náboj elektronu, m_e je hmotnost elektronu, ϵ_0 je permitivita vakua.

Pro cyklotronovou frekvenci elektronů ω_c platí vztah:

20

$$\omega_c = \frac{|e|B}{m_e} \quad (2)$$

kde B je velikost přiloženého stacionárního magnetického pole.

25 ECWR rezonance v budicím páskovém závitě, který představuje vysokofrekvenční elektrodu, se používá pro generaci nízkoteplotního plazmatu s vysokou koncentrací iontů a elektronů, i když je plazma udržováno na velmi nízkém tlaku. Těchto výhod ECWR generace plazmatu se používá pro PECVD depoziční procesy, iontové zdroje nebo plazmové leptání. Technologické využití zdrojů ECWR plazmatu je popsáno v nepatentovém dokumentu H. Oechsner, *Theoretical background and some applications of ECWR-plasmas*, Vacuum 83, 727 (2009).

30

Ze stavu techniky je dále známý dokument WO 01/63981 A1, který popisuje způsob, zařízení a jeho použití pro vytváření nízkotlakého plazmatu pomocí ECWR výboje. Technické řešení popsané v této přihlášce obsahuje cívky generující magnetické pole ve vakuové komoře; vysokofrekvenční elektrodu, umístěnou mezi těmito cívkami; distribuční systém plynu; jednotku extrahující svazek plazmatu a deponující materiál na substrát; a odpovídající elektrický obvod, který je částečně umístěný mimo vakuovou komoru. Tento odpovídající elektrický obvod je rovněž uveden v DE 10008485, přičemž obsahuje vysokofrekvenční zdroj napětí připojený k primární vzduchové cívce. Sekundární vzduchová cívka je sériově připojena k vysokofrekvenční elektrodě. Primární a sekundární vzduchové cívky jsou induktivně vázané. Obvod primární cívky dále obsahuje kondenzátor a nastavitelný kondenzátor. Obvod sekundární cívky obsahuje pouze kondenzátor a rezistory.

40

Jak je uvedeno výše, pro jisté průmyslové aplikace je potřeba ovlivnit energii dodávanou na podložku, a to nejlépe atomy či molekulami, resp. ionty, urychlenými na relativně vysokou energii v rozmezí jednotek eV až desítek eV.

45

Podstata vynálezu

5 Předkládaný vynález řeší výše uvedený technický problém pomocí zařízení pro vytváření vysokofrekvenčního plazmového výboje s elektronovou cyklotronovou vlnovou rezonancí (EWCR výboje), který v konečném důsledku ovlivňuje potenciál plazmatu, a tudíž i kinetickou energii iontů.

10 Předmětem vynálezu je zařízení pro vytváření vysokofrekvenčního plazmového výboje s elektronovou cyklotronovou vlnovou rezonancí (ECWR výboje), přičemž zařízení obsahuje vysokofrekvenční zdroj napětí induktivně vázaný s vysokofrekvenční elektrodou přes elektrický obvod obsahující soustavu cívek a kondenzátorů, přičemž podstata vynálezu spočívá v tom, že vysokofrekvenční elektroda, výhodně pásková elektroda, je dále připojena k externímu zdroji napětí přes soustavu cívek, přičemž soustava cívek je paralelně připojena k vysokofrekvenční
15 elektrodě.

V jistém výhodném provedení výše uvedeného zařízení je připojení alespoň dvou cívek o stejné impedanci k vysokofrekvenční elektrodě realizováno tak, že každá z obou cívek je připojena k jednomu z výstupů vysokofrekvenční elektrody a druhými konci jsou cívky vzájemně propojeny.
20 Takto připojené cívky jsou vzájemně elektricky spojeny do série a jako celek jsou paralelně připojeny k vysokofrekvenční elektrodě ECWR výboje.

Protože vysokofrekvenční napětí na každém výstupu vysokofrekvenční elektrody měřené vůči uzemnění (jakožto referenčnímu potenciálu) je vzájemně fázově posunuto o úhel velikosti π (napětí jsou tedy v proti fázi) musí být měřené napětí vzhledem k uzemnění v místě vzájemného
25 spojení obou externích indukčností rovno nule. Z toho plyne, že místo, kde jsou obě cívky o daných indukčnostech vzájemně propojeny, je vhodné pro připojení externího zdroje napětí, které je vztaženo opět k uzemnění. Takto provedené elektrické zapojení zajistí, že vysokofrekvenční energie nemůže proniknout do externího zdroje generujícího předpětí vložené na
30 vysokofrekvenční elektrodu a zároveň neovlivní rezonanci elektronové cyklotronové elektromagnetické vlny šířící se uvnitř závitů vysokofrekvenční elektrody.

Výše popsané zapojení vnějšího zdroje elektrického předpětí na vysokofrekvenční elektrodu jednoznačně zajistí, že celá vysokofrekvenční elektroda, nezávisle na vysokofrekvenčním zdroji
35 ECWR výboje, je připojena na potenciál vzhledem k uzemnění definovaný vnějším zdrojem předpětí.

Ve výhodném provedení je externí zdroj napětí vybraný z následující skupiny zdrojů:

- 40
- zdroj stejnosměrného napětí;
 - zdroj střídavého nebo radiofrekvenčního napětí; nebo
 - zdroj pulzního napětí s kladnými nebo zápornými napětíovými pulzy.

Výše uvedená zařízení tedy umožňuje provést zvýšení nebo snížení potenciálu ECWR plazmatu, aniž by bylo potřeba nějak ovlivnit samotný ECWR výboj, vysokofrekvenční zdroj napětí, vysokofrekvenční přizpůsobovací jednotku nebo velikost stacionární magnetické indukce B .

Objasnění výkresů

50

Konkrétní příklady provedení vynálezu jsou schematicky znázorněny na přiložených výkresech.

Obr. 1a a 1b představují schémata zařízení pro vytváření ECWR výboje podle vynálezu.

55 Obr. 2 představuje příklad naměřeného potenciálu plazmatu v ECWR výboji.

Obr. 3 představuje schéma uspořádání hybridního plazmového zdroje kombinující mikrovlnný surfatronový a ECWR výboj.

- 5 Obr. 4 představuje schéma uspořádání hybridního plazmového zdroje kombinující systém plazmové trysky s dutou katodou a ECWR výboje.

Obr. 5 představuje schéma uspořádání hybridního plazmového zdroje kombinující systém planárního magnetronu a ECWR výboje.

10

Obr. 6 představuje graf porovnávající vliv hybridního uspořádání ECWR výboje s planárním magnetronem pracujícím v režimu HiPIMS (vysoko-výkonové pulzní magnetronové naprašování) v souvislosti s depozicí tenké vrstvy na substrát.

15

Příklady uskutečnění vynálezu

Na obrázcích 1a a 1b jsou zobrazena alternativní provedení zařízení pro vytváření ECWR výboje 6 a nízkoteplotního plazmatu podle vynálezu. Zařízení obsahuje vakuovou komoru 1. Vakuová komora 1 je čerpána vakuovou vývěvou 2 s regulací tlaku v komoře 1 pomocí ventilu 3. Ve vakuové komoře 1 je dále umístěna vysokofrekvenční pásková elektroda 5 do oblasti ECWR výboje 6. V prostoru vysokofrekvenční páskové elektrody 5 je generováno stacionární magnetické pole B pomocí dvojice Helmholtzových cívek 7a a 7b. Velikost magnetického pole B lze regulovat pomocí velikosti stejnosměrného proudu v obou cívkách 7a a 7b. Vysokofrekvenční pásková elektroda 5 je připojena přes vakuovou průchodku 8 k zdroji 9 vysokofrekvenčního napětí (typicky na frekvenci 13,56 MHz; v jiných provedeních lze také použít frekvenci 27,12 MHz) přes induktivní vazbu primární vzduchové cívky 10 a sekundární vzduchové cívky 11. Primární a sekundární vzduchové cívky jsou umístěné mimo vakuovou komoru 1. Sekundární vzduchová cívka 11 je sériově spojena s ladicím kondenzátorem 12.

30

K obvodu sériově spojené sekundární vzduchové cívky 11, ladicího kondenzátoru 12 a vysokofrekvenční páskové elektrody 5 je následně paralelně připojen obvod obsahující sériového spojení dvou cívek 13a a 13b o stejné impedanci. V místě propojení obou cívek 13a a 13b je připojen externí zdroj 14 napětového předpětí. Externí zdroj 14 může být buď zdroj stejnosměrného napětí, střídavého napětí nebo pulzního napětí s kladnými nebo zápornými napětovými pulzy. Přivedené napětí ze zdroje 14 umožní zvýšit potenciál plazmatu o předem definovanou hodnotu.

35

V provedení podle obrázku 1a je externí zdroj 14 přímo uzemněn. V alternativním provedení podle obrázku 1b je externí zdroj 14 připojen k vakuové komoře 1, která je uzemněná.

40

Na obrázku 2 je uveden příklad provedení způsobu vytvoření pulzního předpětí. V souladu s podstatou vynálezu je na vysokofrekvenční páskovou elektrodu 5 přivedeno pulzní napětí záporné polaritě vedoucí ke snížení potenciálu plazmatu. Toto pulzní napětí pochází z externího zdroje 14, který je paralelně připojen na vysokofrekvenční páskovou elektrodu 5 v souladu s výše popsaným zapojením. Vzhledem k tomu, že vnější přiložené napětí může být stejnosměrné, pulzní, střídavé nebo radiofrekvenční, lze ovlivnit potenciál plazmatu i v případě, že vysokofrekvenční pásková elektroda 5 ECWR výboje 6 je pokryta nevodivým materiálem.

45

V tomto konkrétním příkladu uskutečnění bylo během provozu ECWR výboje 6 na vysokofrekvenční páskovou elektrodu 5 aplikováno pulzní záporné předpětí o velikosti -50 V po dobu trvání 100 μ s. Graf na obr. 2 zobrazuje v tomto časovém intervalu snížení měřeného potenciálu plazmatu o zhruba 25 V vůči potenciálu plazmatu měřenému jen v samotném ECWR výboji 6.

50

55

V dalším příkladu uskutečnění, který je zobrazen na obr. 3, je uvedena konstrukce hybridního ECWR výboje 6 vložená do technologického depozičního systému se soustavou mikrovlnných surfatronů. ECWR surfatronový hybridní plazmový systém obsahuje vakuovou komoru 1 čerpanou vývěvou 2 s regulací tlaku v komoře pomocí ventilu 3. Vakuová komora 1 je vybavena surfatronovým plazmovým zdrojem skládajícím se ze tří surfatronových trysek 4a, 4b, 4c. Vysokofrekvenční pásková elektroda 5 je vložena do vakuové komory 1 do oblasti výboje generovaného surfatronovými zdroji plazmatu. V prostoru páskové elektrody 5 je generováno stacionární magnetické pole B pomocí dvojice Helmholtzových cívek 7a a 7b. Velikost magnetického pole B lze regulovat pomocí velikosti stejnosměrného proudu v obou Helmholtzových cívkách 7a a 7b. Vysokofrekvenční pásková elektroda je připojena přes vakuovou průchodku 8 ke zdroji 9 vysokofrekvenčního napětí (typicky na frekvenci 13,56 MHz) přes induktivní vazbu primární vzduchové cívky 10 a sekundární vzduchové cívky 11. Sekundární vzduchová cívka 11 je sériově spojena s ladicím kondenzátorem 12. K obvodu sériově spojené sekundární vzduchové cívky 11, ladicího kondenzátoru 12 a vysokofrekvenční páskové elektrody 5 je následně paralelně připojen obvod obsahující sériové spojení dvou cívek 13a a 13b o identické indukčnosti. V místě propojení obou cívek 13a a 13b je připojen externí zdroj 14 napětového předpětí. Externí zdroj 14 může být buď zdroj stejnosměrného napětí, střídavého napětí nebo pulzního napětí s kladnými nebo zápornými napětíovými pulzy. Přivedené napětí z externího zdroje 14 umožní zvýšit potenciál plazmatu v oblasti hybridního výboje o předem definovanou hodnotu.

V kombinaci s mikrovlnným surfatronem (nebo soustavou surfatronů) lze dosáhnout depozice tenké vrstvy na podložku 15, umístěnou do vakuové komory 1 v místě pod vysokofrekvenční páskovou elektrodou 5 ECWR výboje 6. Podložka 15 může být připojena na zemnicí potenciál nebo ponechána nepřipojena na tzv. plovoucí potenciál. Surfatronový výboj se používá k přípravě tenkých vrstev metodou PECVD, kdy chemické prekurzory jsou napouštěny do vakuové komory ve formě par, které následně kondenzují na podložce 15, kde má být tenká vrstva vytvářena. Dále, alespoň jednou tryskou 4a nebo 4b nebo 4c surfatronu protéká směs pracovních plynů obsahujících, typicky argon a vybraný reaktivní plyn (kyslík, dusík), podle typu materiálu, který se má připravit ve formě tenké vrstvy. Zapálením výboje v trysce surfatronu je docíleno ionizace, disociace a excitace reaktivních pracovních plynů, které jsou proudem plynu unášeny na podložku, kde reagují s adsorbovaným prekurzorem za vzniku požadované tenké vrstvy. Současným zapálením přídavného ECWR výboje 6 lze docílit vyšší hustoty plazmatu v okolí podložky 15, kde je deponována tenká vrstva. To v konečném důsledku povede k vyšší míře disociace, excitace a ionizace reaktivních plynů. Přivedené napětí na vysokofrekvenční páskovou elektrodu 5 z externího zdroje 14 zvýší potenciál plazmatu v okolí podložky 15, kde je deponována tenká vrstva, což umožní, aby ionty přítomné v plazmatu v okolí podložky 15 s tenkou vrstvou dopadaly na podložku 15 s vyšší energií úměrnou navýšenému potenciálu plazmatu. Toho lze s výhodou použít k růstu tenkých vrstev s lepší krystalografickou strukturou nebo s potlačeným vnitřním pnutím v tenké vrstvě. V případě použití metody plazmového leptání, lze místo depozice tenké vrstvy použít plazmové ionty urychlené na požadovanou energii k leptání tenkých vrstev do požadované struktury.

V dalším příkladu uskutečnění, který je zobrazen na obr. 4, je ECWR výboj 6 kombinován s výbojem v duté katodě 17. Dutá katoda 17 je umístěna nad vysokofrekvenční elektrodou 5 a podložka 15 s deponovanou tenkou vrstvou je umístěna na opačné straně, tj. pod vysokofrekvenční páskovou elektrodou 5. Výboj v duté katodě může být buzen stejnosměrným zdrojem napětí, radiofrekvenčním zdrojem napětí nebo zdrojem pulzního napětí. Současné zapálení výboje v duté katodě 17 a ECWR výboje 6 má za následek vyšší míru ionizace pracovního plynu, rozprášených částic materiálu duté katody a možnost udržení výboje za nižších pracovních tlaků. Toto řešení umožní deponovat tenké vrstvy s vylepšenými vlastnostmi díky většímu množství iontů s vyšší energií dopadajících na povrch tenké vrstvy. Lze očekávat, že deponovaná tenká vrstva bude mít lepší krystalografickou strukturu s vyšší texturou, tenká vrstva bude hustší s hladším povrchem.

V dalším příkladu uskutečnění, který je zobrazen na obr. 5, je ECWR výboj 6 kombinován s výbojem v planárním magnetronu 18, přičemž je magnetron 18 umístěn nad vysokofrekvenční páskovou elektrodou 5 a podložka 15 s deponovanou tenkou vrstvou je umístěna na opačné straně, tj. pod vysokofrekvenční páskovou elektrodou 5. Magnetronový výboj může být buzen
 5 buď stejnosměrným napětím, radiofrekvenčním napětím, pulzním napětím nebo v režimu HiPIMS. Současné zapálení magnetronového výboje a ECWR výboje 6 má za následek vyšší míru ionizace pracovního plynu a umožní provozovat planární magnetron i za tlaků menších jak 0,2 Pa, které jinak není možné. Pokud bude např. tlak v plazmatickém reaktoru s hybridním uspořádáním planární magnetron-ECWR výboj 0,05 Pa, pak bude střední volná dráha mezi
 10 srážkami neutrálních částic přibližně 20 cm a tedy odprášené částice z terče magnetronu se budou pohybovat na podložku 15, kde je deponována tenká vrstva prakticky beze srážek. To ve výsledku povede k vyšší energii částic dopadajících na podložku, což následně vede k depozici tenké vrstvy s preferenční orientací krystalových zrn a dané krystalové struktury. V případě, že přivedením externího napětí kladné polaroty na vysokofrekvenční páskovou elektrodu 5 dojde ke
 15 zvýšení potenciálu plazmatu v okolí podložky 15 s tenkou vrstvou, lze navíc urychlit ionizované rozprášené částice z terče magnetronu pracujícího v režimu HiPIMS a zvýšit jejich kinetickou energii, s níž dopadají na podložku s rostoucí tenkou vrstvou.

V dalším výhodném uskutečnění je možné navzájem společně kombinovat výše zmíněné zdroje nízkoteplotního plazmatu (obr. 3, 4, 5), s výhodou synergických technických efektů.

Vliv hybridního uspořádání ECWR výboje s planárním magnetronem pracujícím v režimu HiPIMS je vidět na obrázku 6. Hybridní konfigurace umožnila pracovat při tlaku ve vakuové komoře 0,08 Pa, což vedlo k depozici tenké vrstvy materiálu TiO₂ s krystalografickou strukturou
 25 rutilu s preferenční krystalografickou rovinou (101) rovnoběžnou s povrchem tenké vrstvy. Pokud byl použit jen samotný planární magnetron v režimu HiPIMS při tlaku 10 Pa, tak deponovaná tenká vrstva vykazovala horší krystalografickou strukturu se zrn mnohem menšího rozměru, což je vidět z porovnání RTG spektra obou tenkých vrstev.

30

Průmyslová využitelnost

ECWR výboje lze použít jakožto zdroje iontů pro plazmové leptání. Pomocí vynálezu je možné měnit potenciál plazmatu uvnitř vysokofrekvenční elektrody a tak jednoduše ovlivnit kinetickou
 35 energii iontů opouštějících páskovou elektrodu v axiálním směru, což má zásadní vliv na rychlost a kvalitu plazmatického leptacího procesu. Plazmatického leptání může být např. využito v procesu ALEt, kdy jsou pomocí vhodných chemických prekurzorů navázaných na leptaný materiál odstraňovány jednotlivé atomové monovrstvy díky reakci s reaktantem, který je aktivován (jsou generovány excitované nebo ionizované částice) a případně urychlen pomocí
 40 zvýšeného potenciálu plazmatu. Dále může být vynález použit v plazmatických depozičních systémech, kde není možné nebo technicky problematické přivádět elektrické předpětí na podložku, kam je deponována tenká vrstva. Pak lze zvýšením potenciálu plazmatu ECWR výboje zvýšit energii iontů dopadajících na podložku, aniž by bylo nutné na podložku přivádět elektrické předpětí a lze ji tedy ponechat na potenciálu země případně na plovoucím potenciálu.

PATENTOVÉ NÁROKY

5 1. Zařízení pro vytváření vysokofrekvenčního plazmového výboje (6) s elektronovou cyklotronovou vlnovou rezonancí obsahující zdroj (9) vysokofrekvenčního napětí, který je induktivně vázaný s vysokofrekvenční elektrodou (5) přes elektrický obvod cívek a kondenzátorů, **vyznačující se tím**, že vysokofrekvenční elektroda (5) je dále připojena k externímu zdroji (14) napětí přes soustavu cívek, přičemž soustava cívek je paralelně připojena k vysokofrekvenční elektrodě (5).

10 2. Zařízení podle nároku 1, **vyznačující se tím**, že vysokofrekvenční elektroda (5) je pásková elektroda.

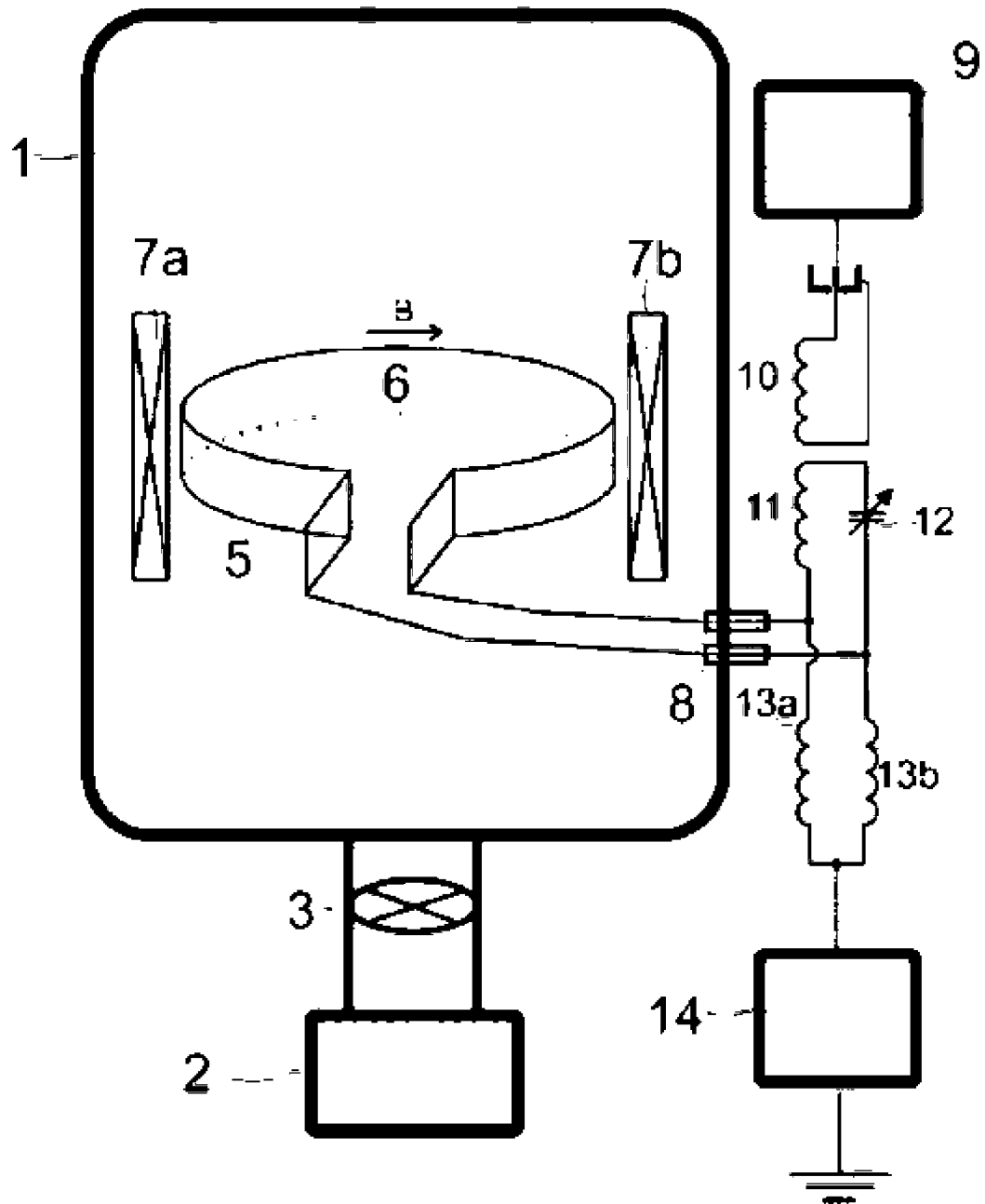
3. Zařízení podle nároku 1, **vyznačující se tím**, že soustava cívek obsahuje alespoň dvě cívky (13a, 13b) o stejné impedanci, které jsou paralelně připojené k nezávislému zdroji (14) napětí svými prvními konci a k vysokofrekvenční elektrodě (5) svými druhými konci.

15 4. Zařízení podle kteréhokoliv z předcházejících nároků, **vyznačující se tím**, že externí zdroj (14) napětí je zdroj vybraný z následující skupiny zdrojů:

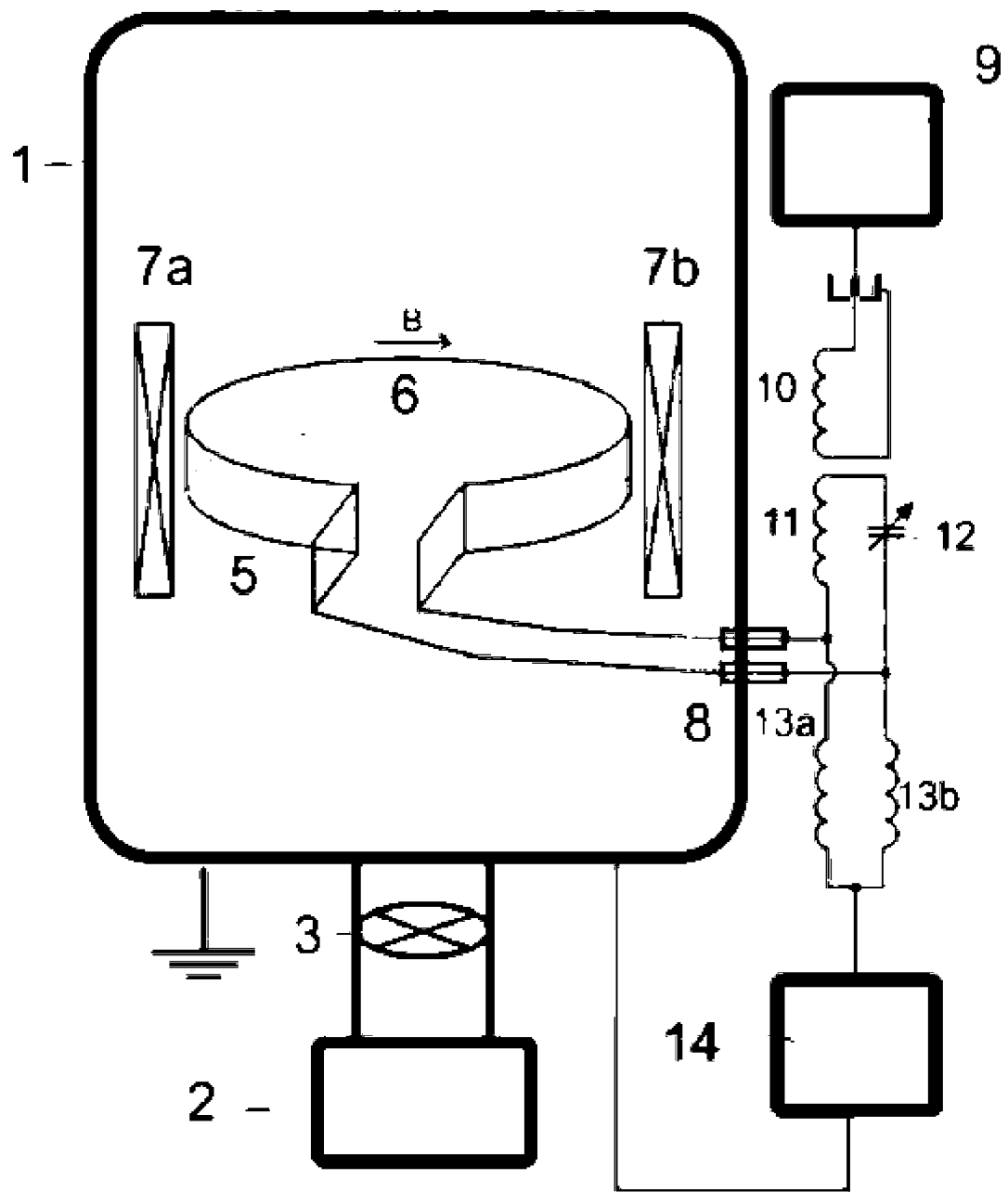
- zdroj stejnosměrného napětí;
- zdroj střídavého nebo radiofrekvenčního napětí; nebo
- zdroj pulzního napětí s kladnými nebo zápornými napěťovými pulzy.

20 5. Zařízení podle kteréhokoliv z předcházejících nároků, **vyznačující se tím**, že vysokofrekvenční elektroda (5) je pokryta nevodivým materiálem.

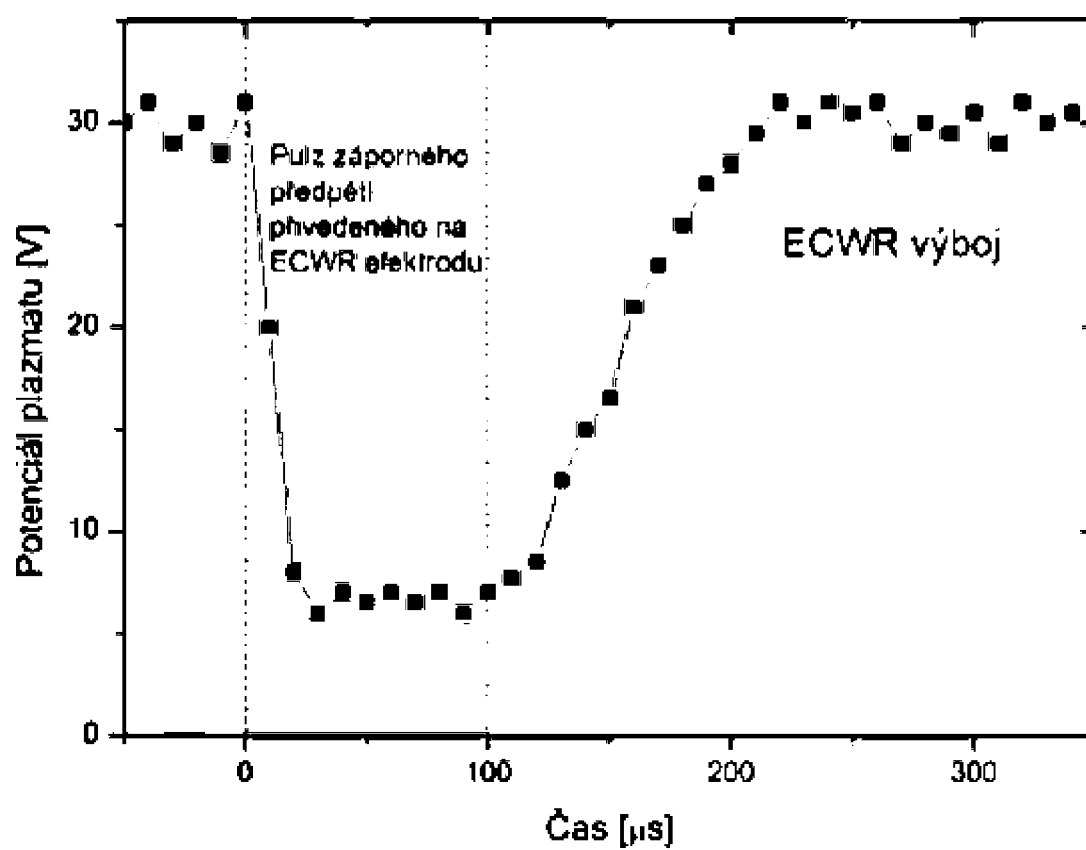
7 výkresů



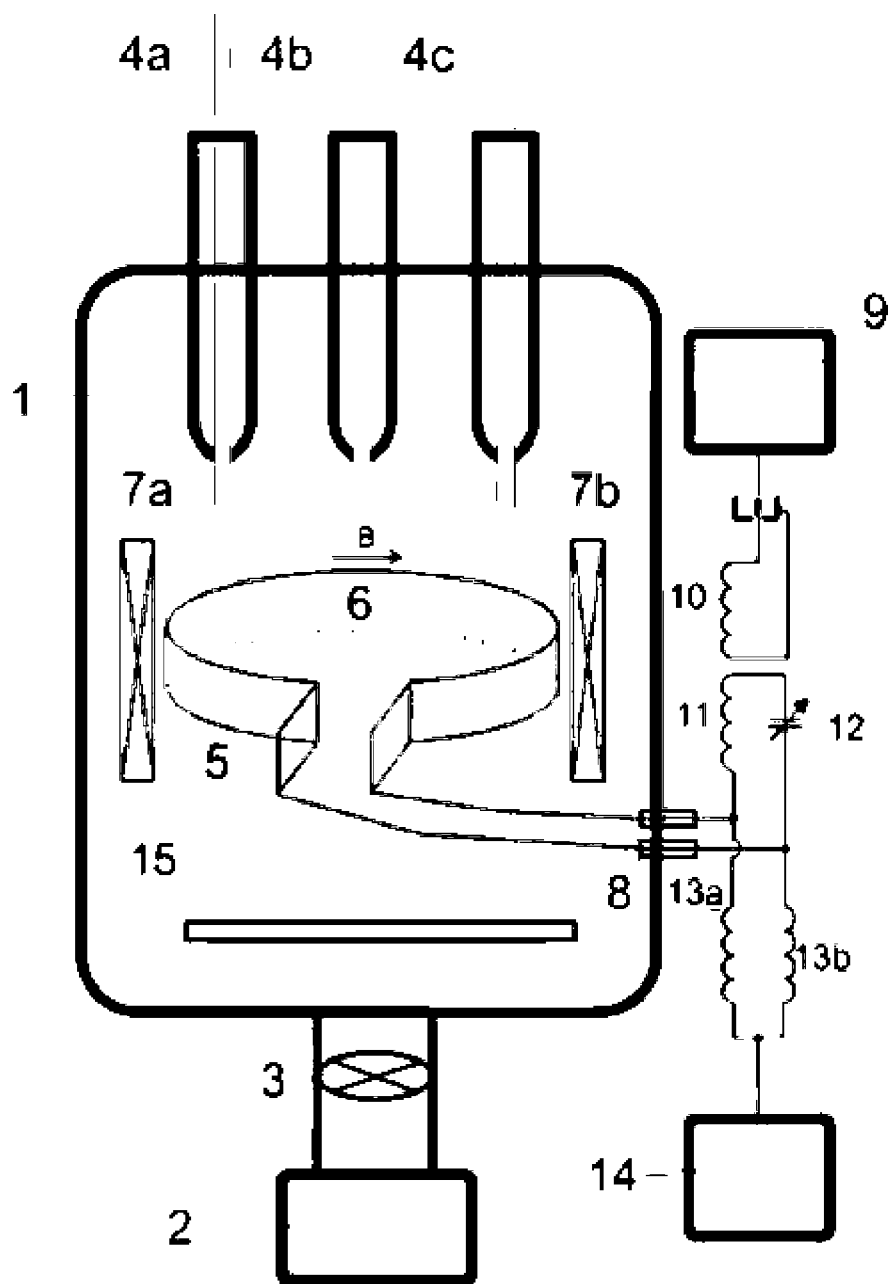
Obr. 1a



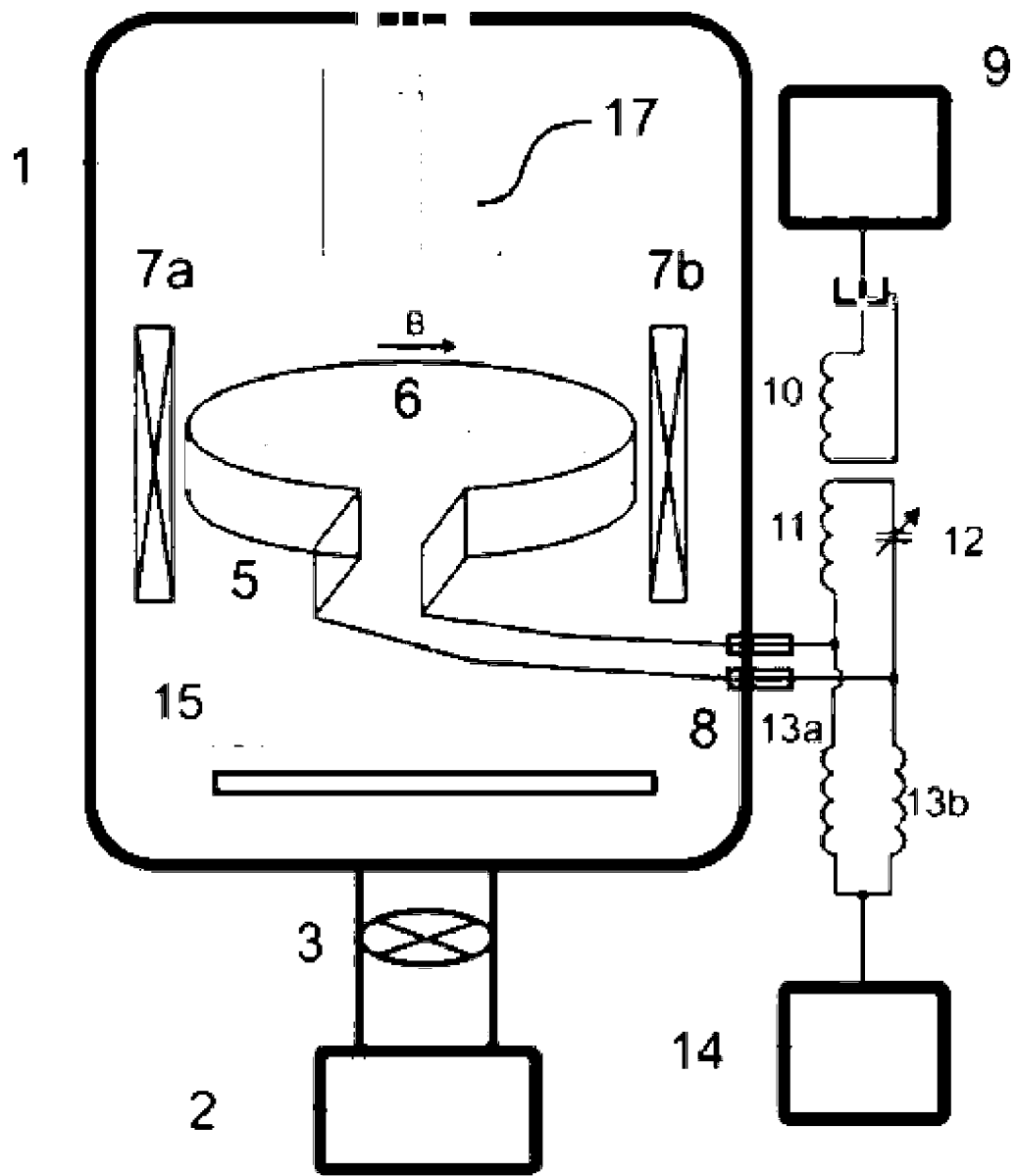
Obr. 1b



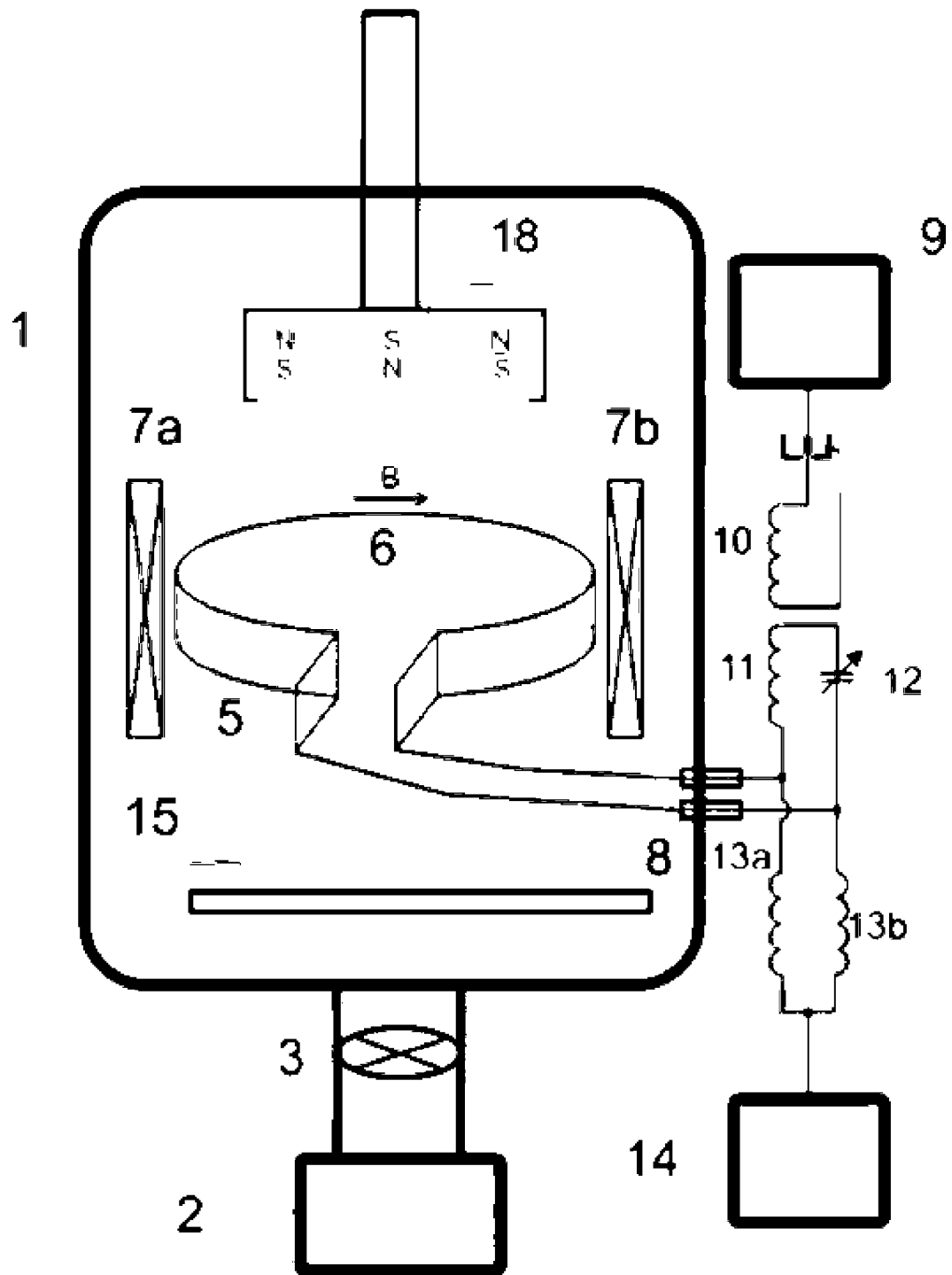
Obr. 2



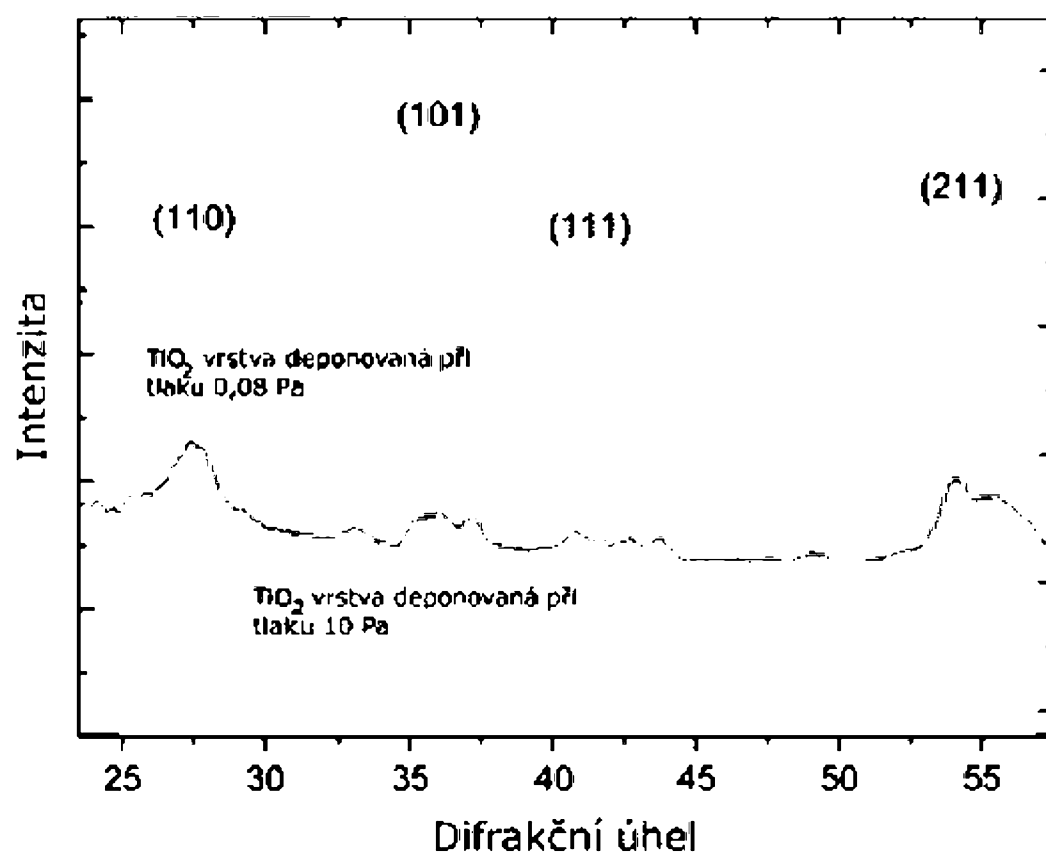
Obr. 3



Obr. 4



Obr. 5



Obr. 6