

UŽITNÝ VZOR

(11) Číslo dokumentu:

33 342

(13) Druh dokumentu: **U1**

(51) Int. Cl.:

H01J 37/32 (2006.01)
H01L 21/205 (2006.01)
H01L 21/20 (2006.01)
H05H 1/46 (2006.01)

(19)
ČESKÁ
REPUBLIKA



ÚŘAD
PRŮMYSLOVÉHO
VLASTNICTVÍ

(21) Číslo přihlášky: **2018-35478**
(22) Přihlášeno: **17.10.2018**
(47) Zapsáno: **05.11.2019**

- (73) Majitel:
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:
Fyzikální ústav AV ČR, v. v. i./CITT, Karel Bauer,
Za Radnicí 835, 252 41 Dolní Břežany

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

CZ 33342 U1

Zařízení pro vytváření vysokofrekvenčního plazmového výboje s elektronovou cyklotronovou vlnovou rezonancí

5 Oblast techniky

Technické řešení spadá do oblasti zařízení pro 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. Technické řešení se konkrétně týká zařízení schopného modulovat potenciál 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. Rossnagel, 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 \mathbf{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*

55

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

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 \mathbf{B} . Elektronová cyklotronová elektromagnetická vlna s pouze pravotočivou kruhovou polarizací se šíří magnetovaným plazmatem podél směru přiloženého stacionárního vektoru magnetické indukce \mathbf{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:

$$\omega_p = \sqrt{\frac{n_e e^2}{\epsilon_0 m_e}}$$

vzorec (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:

$$\omega_c = \frac{|e|B}{m_e}$$

20

vzorec (2)

kde B je velikost přiloženého stacionárního magnetického pole.

25 ECWR rezonance v budícím 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.

35

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 technického řešení

50

Překládané technické řešení 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.

Podstatou technického řešení je přiložené dodatečné napětí z externího zdroje, který je paralelně připojen k vysokofrekvenční elektrodě přes soustavu cívek.

5

V prvním provedení je předmětem technického řešení zařízení pro vytváření ECWR výboje, kde zařízení obsahuje vysokofrekvenční zdroj napětí induktivně vázaný s vysokofrekvenční elektrodou přes elektrický obvod obsahující soustavu cívek a kondenzátorů, přičemž podstata řešení 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 elektrodě.

10

Předkládané řešení je provedeno tak, že nedochází k ovlivnění rezonance elektronové cyklotronové elektromagnetické vlny přiloženým dodatečným napětím, avšak v konečném důsledku poskytuje modulaci potenciálu plazmatu v ECWR výboji.

15

Předkládané technické řešení 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.

20

Soustava paralelně připojených cívek, charakterizované svojí indukčností, se chová jako dolnofrekvenční propust s vysokou impedancí pro budící vysokofrekvenční napětí ECWR výboje. Tímto způsobem indukčností zabrání přenosu vysokofrekvenční energie do externího zdroje napětí připojeného k vysokofrekvenční elektrodě. Tedy vysokofrekvenční energie bude disipována z převážné části do ECWR výboje.

25

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. Takto připojené cívky jsou vzájemně elektricky spojeny do série a jako celek jsou paralelně připojeny k vysokofrekvenční elektrodě ECWR výboje.

30

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 protí fázi) musí být měřené napětí vzhledem k uzemnění v místě vzájemného 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 vysokofrekvenční elektrodu a zároveň neovlivní rezonanci elektronové cyklotronové elektromagnetické vlny šířící se uvnitř závitu vysokofrekvenční elektrody.

35

40

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

45

V jistých výhodných provedeních zařízení je externí zdroj dodatečného předpětí jeden z následujících:

50

- zdroj stejnosměrného napětí;
- zdroj střídavého nebo radiofrekvenčního napětí; nebo

55

- zdroj pulzního napětí s kladnými nebo zápornými napět'ovými pulzy.

Zdroj stejnosměrného napětí umožní zvýšit nebo snížit potenciál ECWR výboje o požadovanou hodnotu odvislou od hodnoty aplikovaného stejnosměrného napětí. Zdroj střídavého nebo radiofrekvenčního napětí umožní modulovat potenciál plazmatu přiloženou frekvencí a díky nelinearitě vrstvy prostorového náboje v okolí nevodivé tenké vrstvy na podložce zapříčiní vznik záporného stejnosměrného předpětí, které ovlivní energii dopadajících nabitých částic. Aplikace pulzního napětí má tu výhodu, že lze potenciál plazmatu ECWR výboje periodicky měnit, a tak docílit urychlení částic na podložku v předem definovaných časových intervalech, které mohou být synchronizovány např. s buzením jiného zdroje plazmatu, který může být umístěn ve stejné vakuové komoře.

V dalším výhodném provedení je vysokofrekvenční elektroda pokryta nevodivým materiálem.

Zařízení s dodatečným předpětím přiloženým na vysokofrekvenční elektrodu pokrytou nevodivým materiálem představuje výhodu v případech, kdy není možné nebo je technicky problematické přikládat elektrické předpětí přímo na podložku, kam je deponována tenká vrstva. Zvýšením potenciálu plazmatu ECWR výboje přes vysokofrekvenční elektrodu pokrytou nevodivým materiálem se zvýší 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.

Další výhodná provedení představují hybridní zdroje nízkotlakého a/nebo nízkoteplotního plazmatu, kde se ECWR plazma vytváří společně s dalším zdrojem nízkoteplotního plazmatu, výhodně s použitím planárního magnetronu a/nebo alespoň jedné plazmové trysky s dutou katodou a/nebo mikrovlnného surfatronu obsahující alespoň jednu plazmovou trysku.

Protože ECWR výboj může být umístěn i do jiných nízkoteplotních plazmatických systému jako jsou např. planární magnetron, plazmová tryska s dutou katodou nebo mikrovlnný surfatron, vznikne kombinovaný (hybridní) plazmový zdroj, který může využívat výhod obou zdrojů plazmatu.

V dalším výhodném provedení je možné navzájem společně kombinovat výše zmíněné hybridní zdroje nízkoteplotního plazmatu, s další výhodou synergických technických efektů.

Pokud bude potenciál plazmatu ECWR výboje generovaného uvnitř vysokofrekvenčního závitu možno nezávisle zvyšovat nebo zmenšovat, lze tímto způsobem také ovlivnit potenciál plazmatu v hybridním ECWR výboji, a tak přinést další vylepšení hybridních plazmatických depozičních systémů.

Objasnění výkresů

Konkrétní příklady provedení technického řešení jsou schematicky znázorněny na přiložených výkresech.

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

Obr. 2. představuje schéma uspořádání hybridního plazmového zdroje kombinujícího mikrovlnný surfatronový a ECWR výboj.

Obr. 3 představuje schéma uspořádání hybridního plazmového zdroje kombinující systém plazmové trysky s dutou katodou a ECWR výboje.

Obr. 4 představuje schéma uspořádání hybridního plazmového zdroje kombinující systém

planárního magnetronu a ECWR výboje.

Obr. 5 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.

Příklady uskutečnění technického řešení

Na obrázcích 1a a 1b jsou zobrazeny alternativní provedení zařízení pro vytváření ECWR výboje 6 a nízkoteplotního plazmatu podle technického řešení. 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 cívka 11 je sériově spojena s ladícím kondenzátorem 12.

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

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.

V dalším příkladu uskutečnění, který je zobrazen na obr. 2, 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 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 10 je sériově spojena s ladícím kondenzátorem 12. K obvodu sériově spojené sekundární vzduchové cívky 11, ladícího 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 napěťového předpětí 14. Externí zdroj 14 může být buď zdroj stejnosměrného napětí, střídavého napětí nebo pulzního napětí s kladnými nebo zápornými napěťovými pulzy. Přivedené napětí z externího zdroje 14 umožní zvýšit potenciál plazmatu v oblasti hybridního výboje 6 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

elektrodou 5 ECWR výboje 6. Podložka může být připojena na zemnicí potenciál nebo ponechána nepřipojena na tzv. plovoucím potenciálu. 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 6 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 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. 3, 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 elektrodou 5. Výboj v duté katodě 17 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 17 a možnost udržení výboje 6 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. 4, je ECWR výboj 6 kombinován s planárním magnetronem 18, přičemž je magnetron 18 umístěn nad vysokofrekvenční elektrodou 5 a podložka 15 s deponovanou tenkou vrstvou je umístěna na opačné straně, tj. pod vysokofrekvenční elektrodou 5. Magnetronový výboj může být buzen 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 18 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 6 0,05 Pa, pak bude střední volná dráha mezi srážkami neutrálních částic přibližně 20 cm, a tedy odprášené částice z terče magnetronu 18 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 polaritě na vysokofrekvenční elektrodu 5 dojde ke zvýšení potenciálu plazmatu v okolí podložky 15 s tenkou vrstvou, lze navíc urychlit ionizované rozprášené částice z terče magnetronu 18 pracujícího v režimu HiPIMS a zvýšit jejich kinetickou energii, s níž dopadají na podložku s rostoucí tenkou vrstvou.

V dalším výhodném provedení je možné navzájem společně kombinovat výše zmíněné zdroje nízkoteplotního plazmatu (obr. 2,3,4), s výhodou synergických technických efektů.

Vliv hybridního uspořádání ECWR výboje 6 s planárním magnetronem 18 pracujícím v režimu HiPIMS je vidět na obrázku 5. Hybridní konfigurace umožnila pracovat při tlaku ve vakuové

5 komoře 0,08 Pa, což vedlo k depozici tenké vrstvy materiálu TiO₂ s krystalografickou strukturou rutilu s preferenční krystalografickou rovinou 101 rovnoběžnou s povrchem tenké vrstvy. Pokud byl použit jen samotný planární magnetron 18 v režimu HiPIMS při tlaku 10 Pa, tak deponovaná tenká vrstva vykazovala horší krystalografickou strukturu se zrny mnohem menšího rozměru, což je vidět z pořízeného RTG spektra obou tenkých vrstev.

Průmyslová využitelnost

10 ECWR výboje lze použít jakožto zdroje iontů pro plazmové leptání. Pomocí technického řešení je možné měnit potenciál plazmatu uvnitř vysokofrekvenční elektrody, a tak jednoduše ovlivnit kinetickou 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 ALÉt, kdy jsou pomocí vhodných chemických prekurzorů navázaných na
15 leptaný materiál odstraňovány jednotlivé atomové monovrstvy díky reakci s reaktantem, který je aktivován (jsou generovány excitované nebo ionizované částice) a případně urychlen pomocí zvýšeného potenciálu plazmatu. Dále může být technické řešení použito 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
20 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.

25

NÁROKY NA OCHRANU

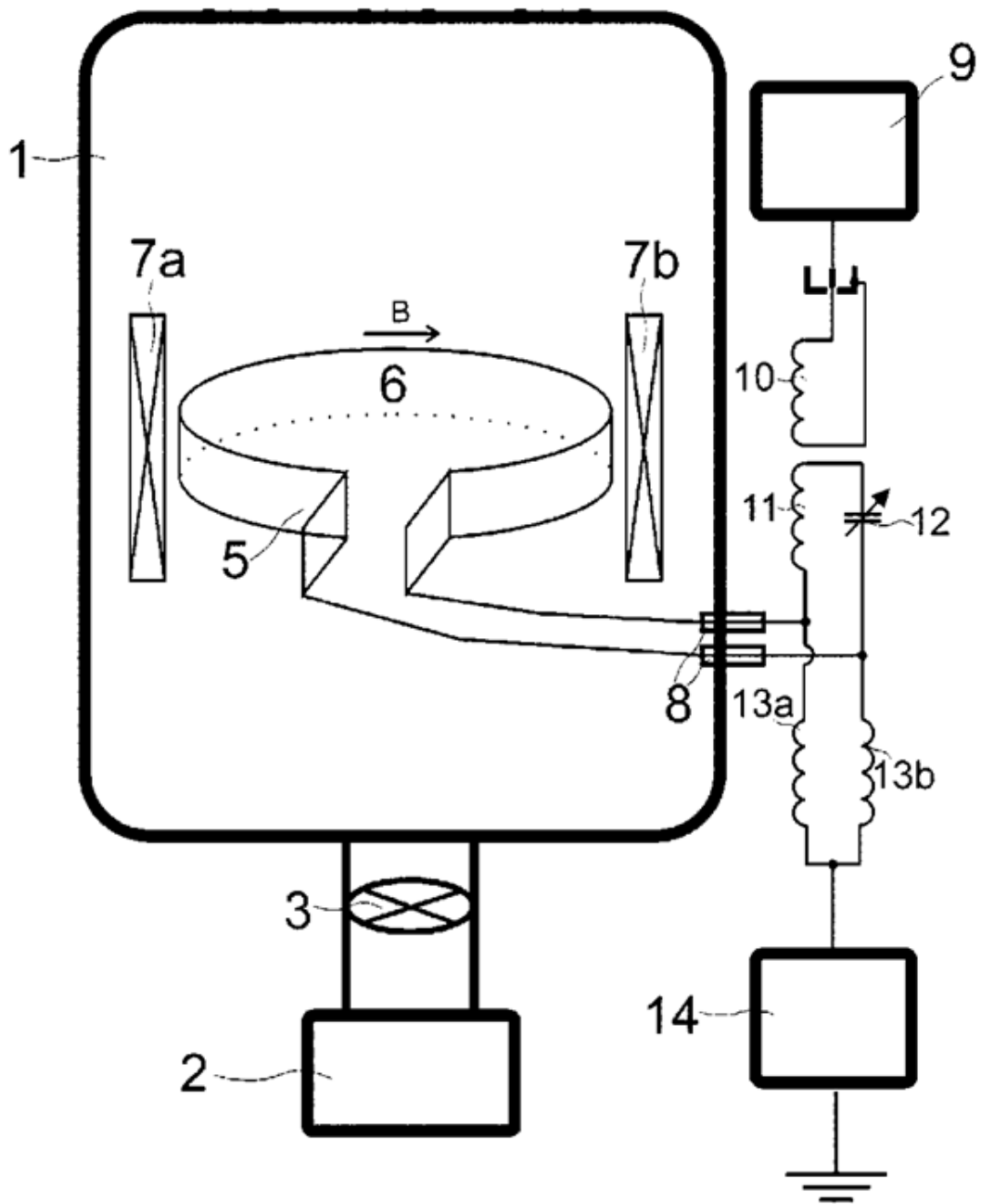
1. Zařízení pro vytváření vysokofrekvenčního plazmového výboje (6) s elektronovou
30 cyklotronovou vlnovou rezonancí obsahující zdroj (9) vysokofrekvenčního napětí, který je induktivně vázaný s vysokofrekvenční elektrodou (5) přes elektrický obvod cívek a kondenzátorů, **se vyznačuje tím**, že vysokofrekvenční elektroda (5), je dále připojena k externímu zdroji (14) napětí přes soustavu cívek, přičemž soustava cívek je paralelně připojena k vysokofrekvenční elektrodě (5).
35
2. Zařízení podle nároku 2, **vyznačující se tím**, že vysokofrekvenční elektroda (5) je pásková elektroda.
3. Zařízení podle nároku 1 nebo 2, **vyznačující se tím**, že soustava cívek obsahuje alespoň dvě
40 cívky (13a, 13b) o stejné impedanci, které jsou připojené k externímu zdroji (14) napětí svými prvními konci a k vysokofrekvenční elektrodě (5) svými druhými konci.
4. Zařízení podle kteréhokoliv z nároků 1 až 3, **vyznačující se tím**, že externí zdroj (14) napětí je zdroj vybraný z následující skupiny zdrojů:
45
 - zdroj stejnosměrného napětí,
 - zdroj střídavého nebo radiofrekvenčního napětí, nebo
 - 50 - zdroj pulzního napětí s kladnými nebo zápornými napěťovými pulzy.
5. Zařízení podle kteréhokoliv z nároků 1 až 4, **vyznačující se tím**, že vysokofrekvenční elektroda (5) je pokryta nevodivým materiálem.
- 55 6. Zdroj hybridního nízkotlakého a/nebo nízkoteplotního plazmatu, **vyznačující se tím**, že

obsahuje zařízení podle kterékoliv z nároků 1 až 5 a alespoň jeden z následujících zdrojů nízkoteplotního plazmatu:

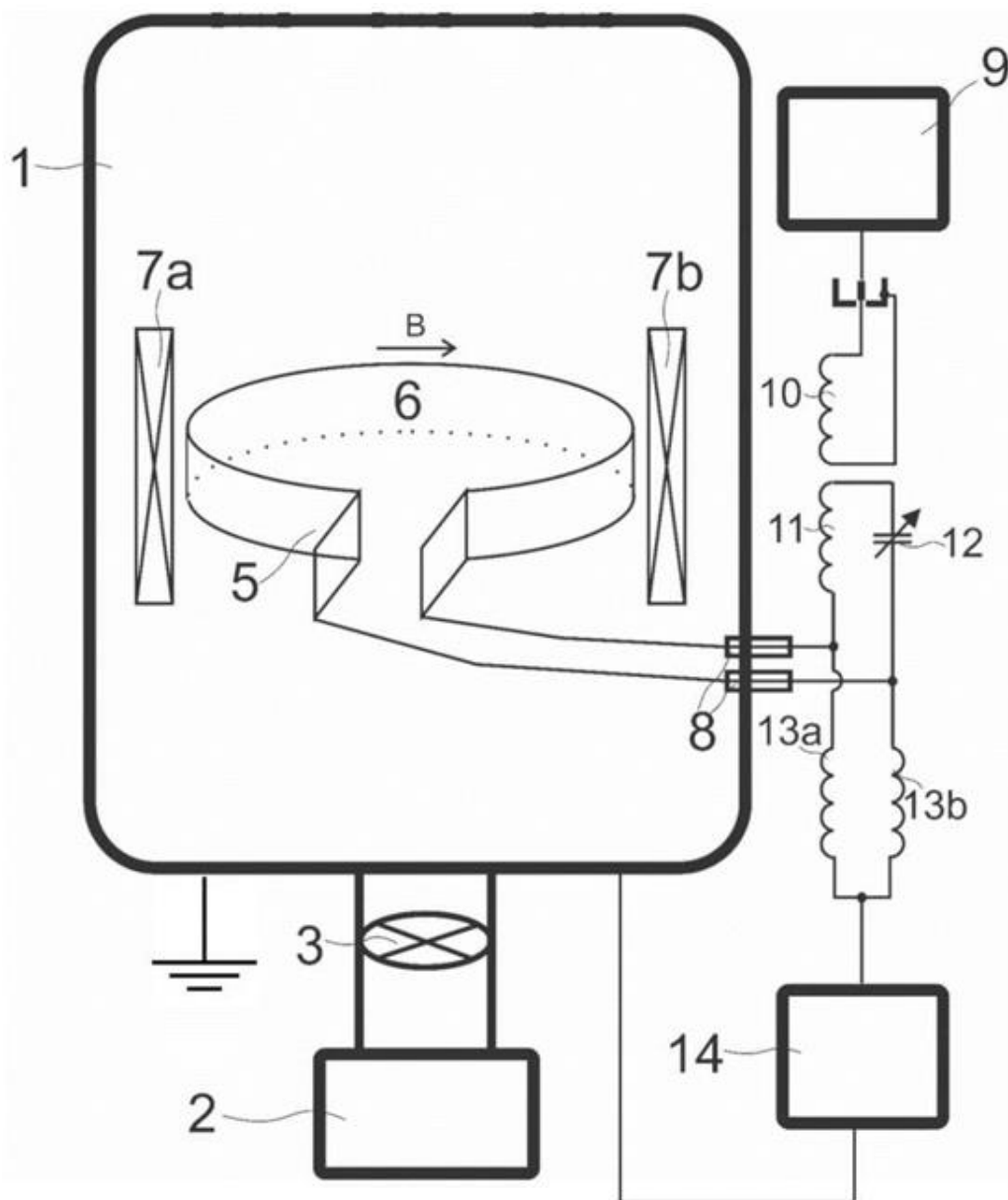
5

- surfatron obsahující alespoň jednu plazmovou trysku (4a nebo 4b nebo 4c);
- alespoň jednu plazmovou trysku s dutou katodou (17); a/nebo
- planární magnetron (18).

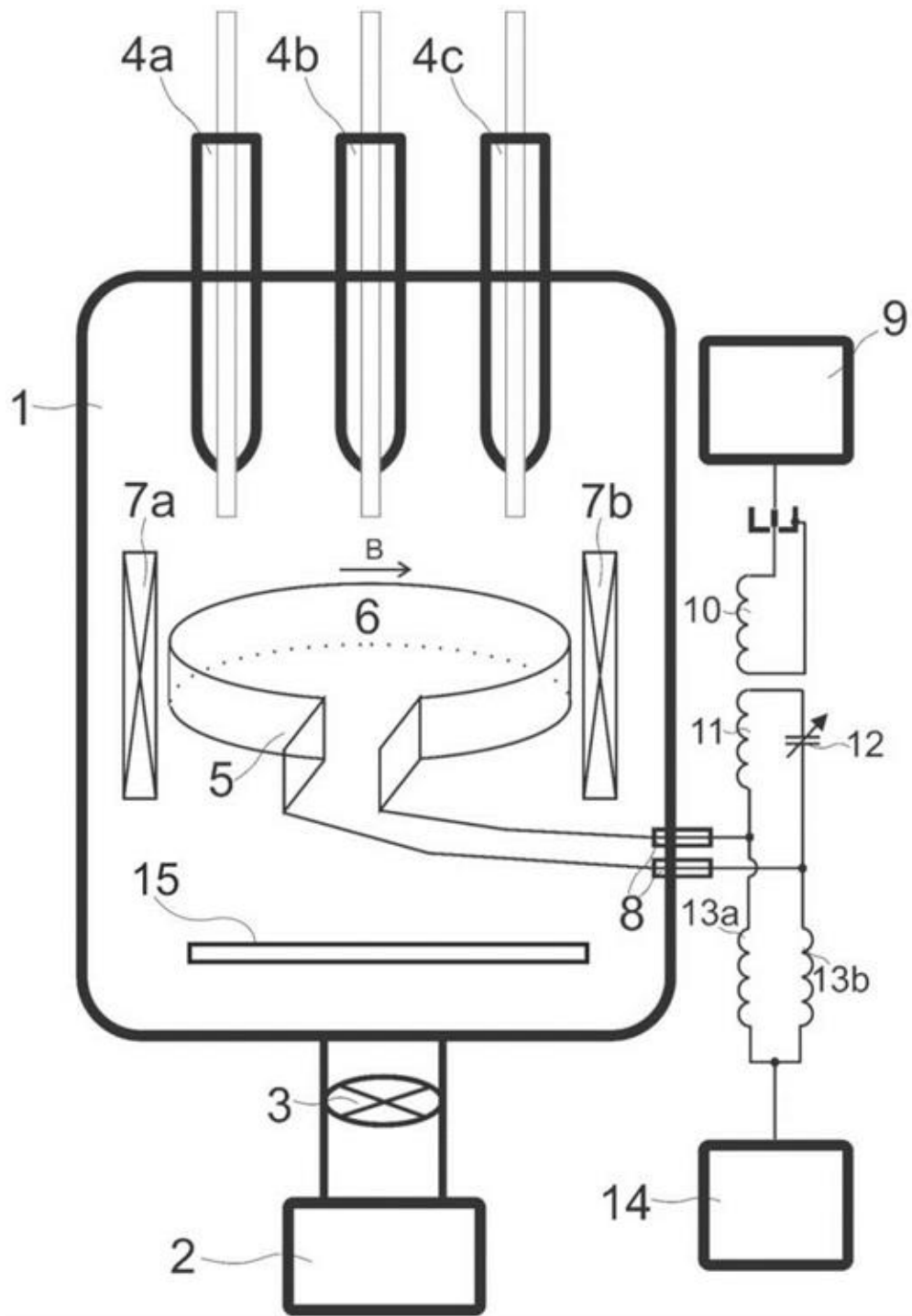
6 výkresů



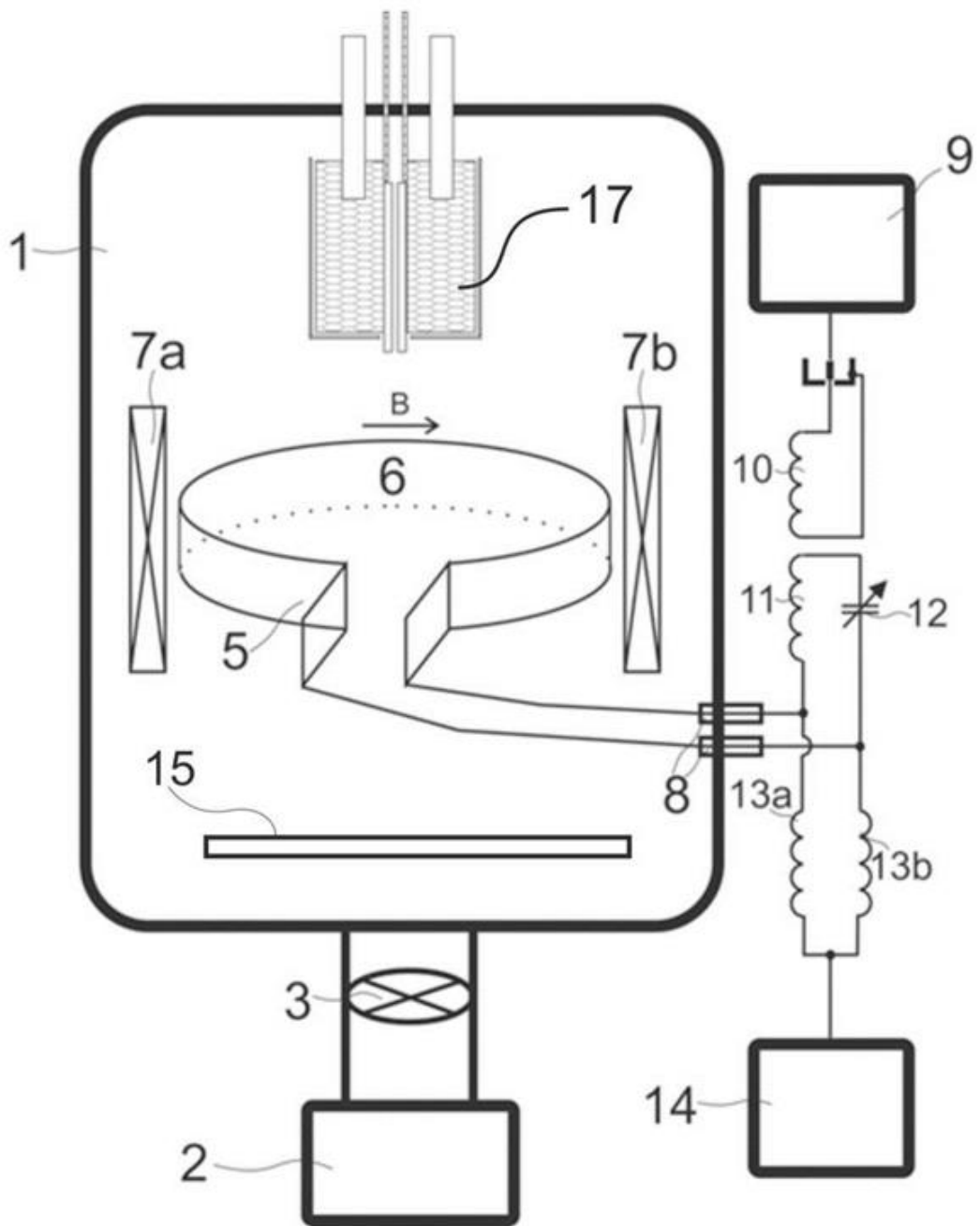
Obr. 1a



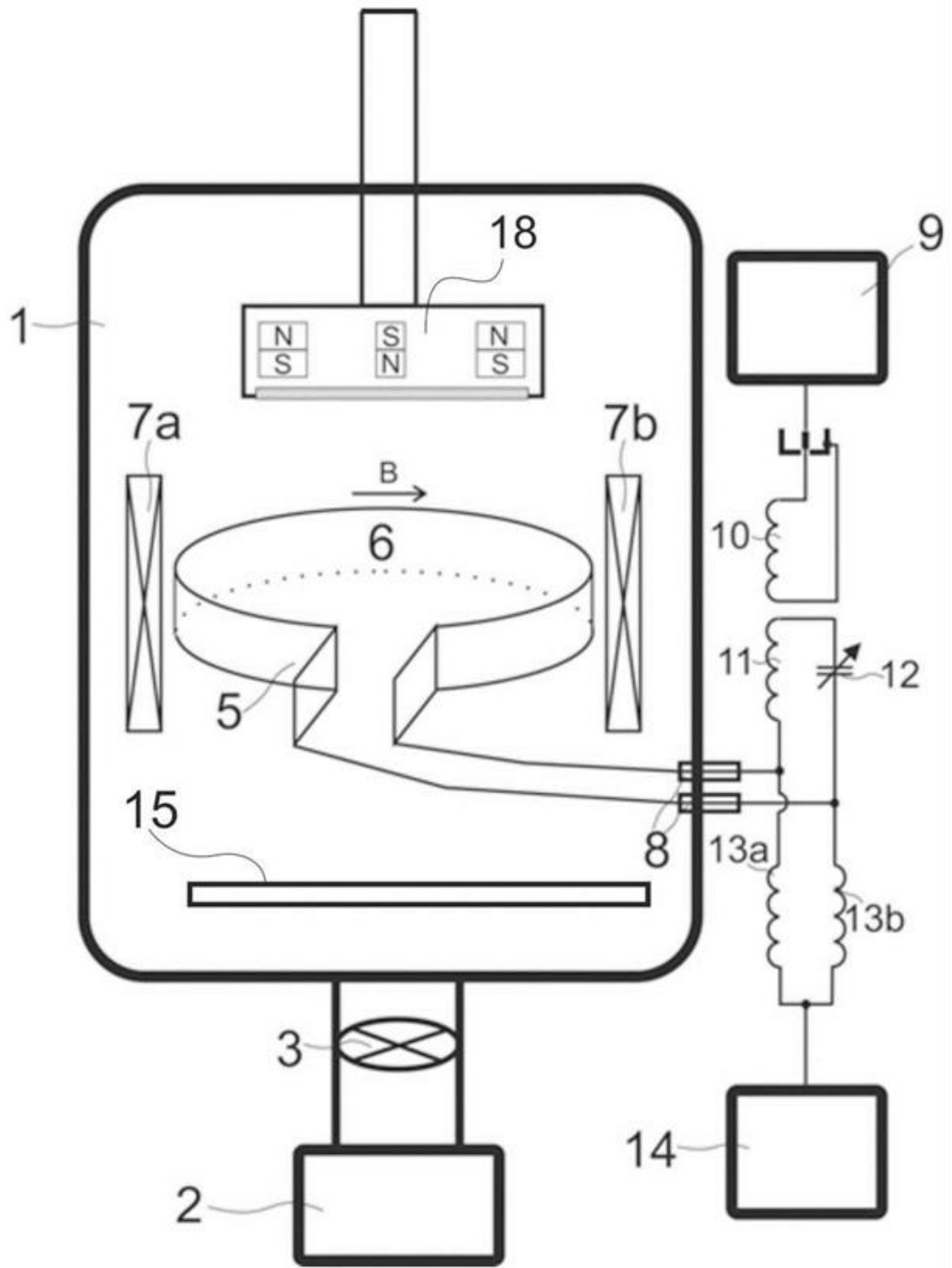
Obr. 1b



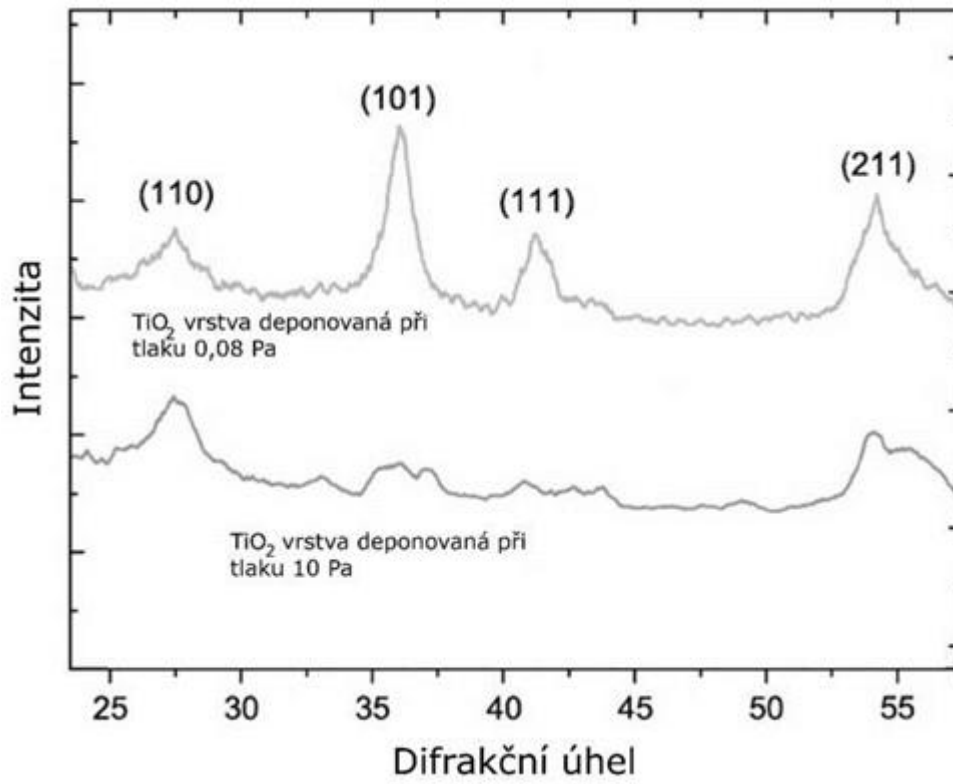
Obr. 2



Obr. 3



Obr. 4



Obr. 5