

PATENTOVÝ SPIS

(11) Číslo dokumentu:

306 980

(13) Druh dokumentu: **B6**

(51) Int. Cl.:

C23C 14/54 (2006.01)
C23C 14/32 (2006.01)
C23C 14/34 (2006.01)
C23C 14/22 (2006.01)

(19)
ČESKÁ
REPUBLIKA



ÚŘAD
PRŮMYSLVÉHO
VLASTNICTVÍ

(21) Číslo přihlášky: **2016-603**
 (22) Přihlášeno: **27.09.2016**
 (40) Zveřejněno: **25.10.2017**
(Věstník č. 43/2017)
 (47) Uděleno: **13.09.2017**
 (24) Oznámení o udělení ve věstníku: **25.10.2017**
(Věstník č. 43/2017)

(56) Relevantní dokumenty:

GB 2528141 A.; JP 2004070233 A.; JP 2013072100 A.; JP 2006131929 A.; JP H09183865 A.; US 5234561 A.,

(73) Majitel patentu:
Fyzikální ústav AV ČR, v.v.i., Praha 8 - Libeň, CZ

(72) Původce:
RNDr. Jiří Olejníček, Ph.D., Praha 4 - Modřany,
CZ
Ing. Jiří Šmíd, Praha 4, CZ
Mgr. Zdeněk Hubička, Ph.D., Praha 5 - Hlubočepy,
CZ

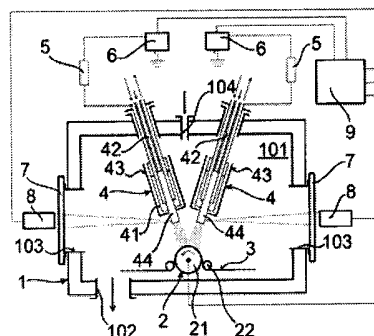
doc. Paeddr. Petr Adámek, Ph.D., České
Budějovice 5, CZ

Mgr. Martin Čada, Ph.D., Praha 9, CZ

Ing. Štěpán Kment, Ph.D., Olomouc, CZ

(74) Zástupce:
Ing. Petr Soukup, Vídeňská 8, 772 00 Olomouc

plazmatických trysek (4) byly shodné. Podstatou vynálezu je rovněž zařízení k provádění způsobu řízení rychlosti depozice.



(54) Název vynálezu:

Způsob řízení rychlosti depozice tenkých vrstev ve vakuovém vícetryskovém plazmovém systému a zařízení k provádění tohoto způsobu

(57) Anotace:

Způsob řízení rychlosti depozice tenkých vrstev ve vakuovém vícetryskovém plazmovém systému využívajícím plazmochemické reakce v aktivní zóně generovaného výboje a tvořeném alespoň jednou řadou plazmatických trysek (4), jejichž pracovní trubice (42) jsou zakončeny dutou katodou (44), jejíž ústí je ustaveno v blízkosti horní plochy nosné soupravy (2) s uloženým substrátem (3), kde podstata řešení spočívá v tom, že při depozici tenké vrstvy na substrát (3) je po samostatném zapálení výbojů v každé plazmové trysce (4) a při řízení jejich parametrů prostřednictvím vnějších zdrojů (6) napětí je teplota každé duté katody (44) bezkontaktně monitorována vlastním pyrometrem (8) a na základě vyhodnocení naměřených hodnot teploty a nastavených parametrů výboje je pomocí řídicí jednotky (9) regulován efektivní proud v každé z plazmatických trysek (4) tak, aby depoziční rychlosti všech dutých katod (44)

CZ 306980 B6

Způsob řízení rychlosti depozice tenkých vrstev ve vakuovém vícetryskovém plazmovém systému a zařízení k provádění tohoto způsobu

5 Oblast techniky

Vynález spadá do oblasti aplikace technologických postupů při vytváření tenkých vrstev, zejména čistých kovů, jejich oxidů, nitridů či dalších sloučenin, na povrchu substrátu a týká se způsobu řízení rychlosti depozice tenkých vrstev ve vakuovém vícetryskovém plazmovém systému a zaří-
 10 zení k provádění tohoto způsobu při využití plazmochemických reakcí v aktivní zóně generova-
 něho výboje. Řešení je uzpůsobeno zejména ve spojení s uplatněním technologií plazmové trysky pracující na principu výboje v duté katodě hořící v režimu HCA (Hollow Cathode Arc).

15 Současný stav techniky

Výboj v duté katodě jako technologický nástroj pro depozici tenkých vrstev je znám již od osm-
 desátých let minulého století. V praxi jsou systémy využívající nízkotlakou dutou katodu zpravi-
 20 dila tvořeny reaktorem ve formě uzemněné kovové nádoby, v níž je pracovní tlak udržován v roz-
 pětí 10^{-5} až 10^2 Pa pomocí turbomolekulární vývěvy Tryskou, která slouží zároveň jako elektro-
 da, proudí do reaktoru pracovní plyn a v její spodní části je umístěna dutá katoda, která je vyro-
 bena z materiálu odpovídajícímu vytvářené vrstvě. Aby nemohlo dojít k přehřátí trysky, je tato
 chlazena zpravidla vodou protékající měděným chladičem, který trysku pevně obepíná. Prostřed-
 25 nictvím trysky jsou do systému dodávány zpravidla inertní pracovní plyny, zatímco reaktivní
 plyny, jako například kyslík nebo dusík, jsou do reaktoru přiváděny odděleně. Proud pracovního
 plynu v trysce lze regulovat do té míry, že jeho výtoková rychlost může být v závislosti na pra-
 covním tlaku jak nadzvuková, tak podzvuková. K vygenerování plazmatu a zapálení výboje do-
 chází v ústí duté katody. Výboj je pak unášen proudícím pracovním plynem dovnitř reaktoru, kde
 30 se vytváří intenzivní plazma–chemický kanál, který je možné využít k technologickým účelům,
 jako je třeba nanášení tenkých vrstev, opracování povrchů apod. Výboj v duté katodě odprašuje
 povrch trysky, tedy duté katody, a takto odprašený materiál je plazmatickým kanálem unášen
 směrem k substrátu, kde vytváří deponovanou vrstvu. Výhodou popsaného systému je skutečnost,
 že tok částic na substrát není na rozdíl od magnetronu způsoben pouze difúzí kladně nabitých
 částic, ale je důsledkem subsonického nebo supersonického proudu pracovního plynu. Tohoto
 35 faktu lze s úspěchem využít k deponování vrstev na substráty komplikovaných tvarů, např. do
 dutin a podobně, neboť je možné nasměrovat proudící kanál přímo na požadovanou plošku, což
 je popsáno například ve spise CZ 283407 o názvu "*Způsob a zařízení pro vytváření povlaku na
 vnitřních stěnách dutých substrátů, zejména trubic*". Další výhodou používání těchto metod je
 možnost depozice magnetických vrstev, protože magnetické pole generované deponovanou vrst-
 40 vou jen velmi málo ovlivňuje tok částic na substrát. Klíčovou výhodou výboje v duté katodě ve
 srovnání s magnetronovým naprašováním je však vysoká depoziční rychlost při reaktivním na-
 prašování, tzv. sputteringu. Protože tryskou zpravidla proudí pouze inertní pracovní plyn, napří-
 klad Ar, He apod., nedochází v průběhu depozice k oxidaci trysky a pokrývání jejího vnitřního
 povrchu tenkou dielektrickou vrstvou. Tento jev označovaný v praxi jako „*target poisoning*”
 45 negativně ovlivňuje depoziční rychlost právě u magnetronových systémů, kde v závislosti na
 poměru průtoku reaktivní a nereaktivní složky pracovního plynu, v závislosti na odprašovaném
 materiálu, módu buzení výboje a v závislosti na výkonu absorbovaném ve výboji může depoziční
 rychlost reaktivního sputteringu klesnout až na zlomek depoziční rychlosti při naprašování čistě-
 ho kovu. V případě výboje v duté katodě dochází ke kontaktu odprašeného materiálu a reaktivní
 50 složky pracovního plynu až vně trysky a požadovaná chemická reakce tak probíhá mimo erozní
 zónu rozprašovaného terče. Depoziční rychlost reaktivního naprašování je proto v případě duté
 katody plně srovnatelná s depoziční rychlostí nereaktivního sputteringu.

Vhodnými modifikacemi původní konfigurace duté katody se v posledních letech podařilo její
 55 depoziční rychlost ještě zvýšit. Například využitím pulzního režimu místo kontinuálního bylo

možné dosáhnout vyšších hodnot středního výbojového proudu, a tím pádem i většího množství rozprášených částic, při zachování stejné teplotní zátěže. Toto bylo experimentálně ověřeno např. ve stati Hubička Z., Čada M., Potůček Z., Ptáček P., Šíchová H., Málková Z., Jastrabík L. and Trunda B., *Low pressure deposition of $\text{Li}_x\text{Zn}_y\text{O}$ thin films by means of RF plasma jet system*, *Thin Solid Films* 447, 656 (2004). Další významnou úpravou s pozitivním vlivem na depoziční rychlost bylo využití tzv. "hollow cathode are" (HCA) režimu, jehož teorie je detailně popsána např. v práci: C. M. Ferreira and J. L. Delcroix, *Theory of the hollow cathode are*, *Journal of Applied Physics* 49, 2380 (1979). Tryska duté katody, nebo alespoň její spodní část, není v tomto případě chlazená vodou a po zapálení výboje dochází v důsledku iontového dopadu, tzv. bombardmentu, k jejímu cílenému ohřevu. Ve stavu tepelné rovnováhy je vnitřní strana trysky ohřívána dopadajícími ionty a vnější strana ochlazována tepelnou radiací. V závislosti na použitém materiálu se může tryska ohřát i na více jak 1500 °C a k růstu vrstvy tak přispívá nejen odprašování povrchu trysky, ale i její evaporace. S rostoucí teplotou je podíl evaporace vyšší. Tato metoda byla využita např. při depozici CrN vrstev a popsána v publikaci Baránková H., Bárdoš, L. and Gustavsson L.-E., *High-rate hot hollow cathode are deposition of chromium and chromium nitride films*, *Surface & Coatings Technology* 188–189, 703 (2004).

Při porovnání použití technologie duté katody s magnetronovým naprašováním je možno uvést i některé nevýhody, když velkým handicapem je např. vysoká nehomogenita deponované vrstvy. Na rozdíl od magnetronu, kde velikost rovnoměrně poprášené plochy do značné míry koresponduje s velikostí rozprašovaného terče, je tloušťkový profil vrstvy naprášené dutou katodou vždy výrazně nehomogenní a má přibližně tvar rotačně symetrické dvoudimenzionální Gaussovy křivky. Nehomogenita vrstvy naprášené dutou katodou je tím větší, čím menší je vzdálenost mezi tryskou a substrátem. S rostoucí naprašovací vzdáleností ale významně klesá depoziční rychlost v ose symetrie. Přitom právě dobrá homogenita vrstev a vysoká depoziční rychlost jsou klíčovými požadavky pro úspěšnou průmyslovou aplikaci vyvíjených systémů. K dosažení obou těchto cílů se v posledních letech testuje několik modifikací původního uspořádání duté katody. Jedním z nich je např. využití dvou deskových terčů umístěných paralelně proti sobě tak, jak je popsáno např. v odborném článku Kubo Y, Iwabuchi Y, Yoshikawa M., Sato Y. and Shigesato Y, *High rate deposition of photocatalytic TiO_2 films with high activity by hollow cathode gas-flow sputtering method*, *Journal of Vacuum Science & Technology A* 26, 893 (2008). Tato technika je známa pod názvem gas-flow sputtering (GFS) a vůbec poprvé byla popsána v roce 1989 v článku Ishii K. *High-rate low kinetic energy gas-flow-sputtering systém*, *Journal of Vacuum Science & Technology A* 7, 256 (1989). Principiálně je tato technika podobná výboji v duté katodě, dosahované depoziční rychlosti při reaktivním sputteringu jsou výrazně vyšší než u klasického magnetronového naprašování a homogenita deponovaných vrstev ve směru umístění terčů je s magnetronem plně srovnatelná.

Jiným možným způsobem jak kompenzovat tloušťkovou nehomogenitu vrstev připravených pomocí duté katody je využití tzv. vícetryskového systému, tedy uspořádat několik trysek vedle sebe do jedné řady tak, aby jednotlivé plazmatické kanály tvořily buď ucelenou plazmovou stěnu, nebo vzájemně kompenzovaly poklesy depozičních rychlostí při okrajích plazmových kanálů. Nejčastěji používaným regulačním mechanismem rychlosti depozice tenkých vrstev je proudová nebo výkonová regulace jednotlivých trysek. Je prokázáno, že zatímco v případě magnetronového naprašování je tento mechanismus plně dostačující, v případě výboje v duté katodě je použitelný pouze pro oblast doutnavého výboje. Bylo zjištěno, že pro nízké hodnoty výkonu a proudu roste depoziční rychlost spolu s absorbovaným výkonem. S nimi však roste i teplota nechlazené části trysky a v důsledku toho i odpovídající termoemise. V blízkosti bodu, kdy výboj přejde z režimu doutnavého výboje do režimu HCA, dojde k výraznému poklesu napětí a tím pádem i absorbovaného výkonu. Teplota trysky i depoziční rychlost však stále rostou. Z uvedeného je zřejmé, že v případě výboje v duté katodě pracující v režimu HCA není depoziční rychlost jednoznačnou funkcí absorbovaného výkonu a použití výkonové regulace při vysokých depozičních rychlostech je komplikované.

V nedávné minulosti byly testovány i jiné způsoby regulace depoziční rychlosti. Například ve spisu *US 20120193219 A1* – "*Method for determining process-specific data of a vacuum deposition proces*" je popsána regulační metoda využívající optickou emisní spektroskopii k řízení některých parametrů při deponování tenkých vrstev prostřednictvím magnetronu. V jiném spisu *US 4166783 A* – "*Deposition rate regulation by computer control of sputtering systems*" je popsána metoda zpětnovazební regulace depoziční rychlosti prostřednictvím počítačem řízeného monitoringu výkonu. Existují i další patentově chráněné postupy na řízenou depozici tenkých vrstev (viz např. *US5234561A* či *WO9002216A*, žádný z nich však není aplikovatelný na výboj v duté katodě hořící v HCA režimu.

Úkolem předloženého vynálezu je představit nový způsob řízení rychlosti depozice tenkých vrstev ve vícetryskovém plazmovém systému a zařízení k provádění tohoto způsobu při využití plazmochemických reakcí v aktivní zóně generovaného výboje, kde pomocí jednoduchého regulačního mechanismu je možno spolehlivě kontrolovat depoziční rychlost jednotlivých dutých katod tvořících vícetryskový plazmový systém.

Podstata vynálezu

Stanoveného cíle je dosaženo vynálezem, kterým je způsob řízení rychlosti depozice tenkých vrstev ve vakuovém vícetryskovém plazmovém systému využívajícím plazmochemické reakce v aktivní zóně generovaného výboje a tvořeném alespoň jednou řadou plazmatických trysek, jejichž pracovní trubice jsou zakončeny dutou katodou, jejíž ústí je ustaveno v blízkosti horní plochy nosné soupravy s uloženým substrátem, kde podstata řešení spočívá v tom, že při depozici tenké vrstvy na substrát je po samostatném zapálení výbojů v každé plazmové trysce a při řízení jejich parametrů prostřednictvím vnějších zdrojů napětí je teplota každé duté katody bezkontaktně monitorována vlastním pyrometrem a na základě vyhodnocení naměřených hodnot teploty a nastavených parametrů výboje je pomocí řídicí jednotky regulován efektivní proud v každé z plazmatických trysek tak, aby depoziční rychlosti všech dutých katod plazmatických trysek byly shodné.

Ve výhodném provedení vynálezu je v případě stejnosměrného výboje regulována střední hodnota proudu a v případě pulzně modulovaného výboje je regulována střída.

Další podstatou vynálezu je zařízení k provádění způsobu řízení rychlosti depozice tenkých vrstev ve vakuovém vícetryskovém plazmovém systému využívajícím plazmochemické reakce v aktivní zóně generovaného výboje a tvořeném alespoň jednou řadou plazmatických trysek, jejichž pracovní trubice jsou zakončeny dutou katodou, jejíž ústí je ustaveno v blízkosti horní plochy nosné soupravy s uloženým substrátem, kde podstata řešení spočívá v tom, že v plášti vakuové komory jsou vytvořeny otvory, které jsou umístěny na úrovni dutých katod plazmových trysek a které jsou opatřeny průhlednými průzory, za každým z nichž je vně vakuové komory instalován infračervený pyrometr, který je nasměrován na koncovou část duté katody za účelem sledování její povrchové teploty a je napojen na řídicí jednotku, na níž jsou dále napojeny zdroje napětí jednotlivých plazmových trysek a pohonný mechanismus nosné soupravy.

Ve výhodném provedení vynálezu při vybavení vakuové komory dvěma řadami nebo dvěma dvojicemi řad plazmových trysek jsou plazmové trysky v každé řadě uloženy ekvidistantně tak, že mezi každými dvěma sousedními plazmovými tryskami je stejná vzdálenost (d), přičemž v řadách vzájemně protilehlé plazmové trysky jsou vždy ve směru kolmém na posuv substrátu vzájemně posunuty o polovinu vzdálenosti (d), kde plazmové trysky v obou řadách jsou vzhledem k umístění substrátu ustaveny v šikmém směru proti sobě tak, že průsečnice rovin procházejících jejich podélnými osami leží v rovině pokrývaného substrátu.

Předkládaným vynálezem se dosahuje nového a vyššího účinku v tom, že umožňuje vysokorychlostní depozici homogenních vrstev nanášených prostřednictvím reaktivního naprašování s využi-

- tím výboje v duté katodě hořícím v režimu HCA. Dosahovaná depoziční rychlost je oproti standardním metodám reaktivního magnetronového naprašování v DC módu až o řád vyšší a přibližně 2x až 3x vyšší oproti klasickému výboji v duté katodě či GFS metodě hořící v režimu doutnavého výboje a přitom zachovává homogenitu naprášených vrstev na předem požadované úrovni.
- 5 Velkou výhodou popsané metody je zejména fakt, že je zcela modulární a tudíž rozšiřitelná na libovolně velkou pokrývanou plochu.

Objasnění výkresů

- 10 Konkrétní příklady provedení zařízení podle vynálezu jsou znázorněny na připojených výkresech, kde
- obr. 1 je celkové schéma základního provedení zařízení,
- obr. 2 je zjednodušený půdorysný pohled na zařízení z obr. 1 se znázorněním vzájemného rozmístění dvou sousedních řad plazmových trysek,
- 15 obr. 3 je algoritmus činnosti řídicí jednotky pro každou konkrétní trysku,
- obr. 4 je grafické znázornění tloušťkového profilu vytvářených tenkých vrstev naprašovaných vícetryskovým systémem podle vynálezu z různých vzdáleností,
- obr. 5 je grafické znázornění depoziční rychlosti jako funkce absorbovaného výkonu,
- 20 obr. 6 je grafické znázornění depoziční rychlosti jako funkce teploty duté katody,
- obr. 7 je půdorysný pohled na alternativní provedení zařízení vybavené jednou řadou plazmových trysek,
- obr. 8 je půdorysný pohled na alternativní provedení zařízení vybavené dvěma dvojicemi řad plazmových trysek a
- 25 obr. 9 je celkové schéma alternativního provedení zařízení vybaveného dvěma dvojicemi řad plazmových trysek.
- Výkresy, které znázorňují představovaný vynález a prokazují jeho účinky, a následně popsané příklady konkrétních provedení v žádném případě neomezuji rozsah ochrany uvedený v definici, ale jen objasňují podstatu řešení.
- 30

Příklady uskutečnění vynálezu

- 35 Zařízení umožňující provádění způsobu řízení rychlosti depozice tenkých vrstev ve vakuovém vícetryskovém plazmovém systému podle vynálezu je v základním provedení znázorněném na obr. 1 a obr. 2 tvořeno vakuovou komorou 1, v jejímž vnitřním prostoru 101 je instalována nosná souprava 2 pro uložení substrátu 3, na který je deponována požadovaná tenká vrstva. Nosná souprava 2 je tvořena soustavou sestávající z chladicího válce 21, opatřeného neznázorněným pohonným mechanismem, a z naváděcích válců 22, mezi nimiž je posouván substrát 3, tvořený například elastickou folií.
- 40 Vakuová komora 1 je přes spojovací hrdlo 102 a neznázorněný oddělovací regulační ventil standardně propojena s rovněž neznázorněnou čerpací jednotkou, například vývěvou. Do vnitřního prostoru 101 vakuové komory 1 jsou shora zaústěny jednak přívod 104 reaktivního plynu a jednak dvě řady plazmových trysek 4 nainstalovaných v neoznačených přírubách vytvořených v plášti vakuové komory 1 tak, že jejich ústí se nachází v blízkosti horní plochy nosné soupravy 2 s uloženým substrátem 3. Plazmové trysky 4 jsou v řadě uloženy ekvidistantně tak, že mezi každými dvěma sousedními plazmovými tryskami 4 je stejná vzdálenost d, přičemž v řadách vzájemně protilehlé plazmové trysky 4 jsou vždy ve směru kolmém na posuv substrátu 3 vzájemně posunuty o polovinu vzdálenosti d, jak je znázorněno na obr. 2. Plazmové trysky 4 v obou řadách
- 45
- 50

5 jsou vzhledem k umístění substrátu 3 ustaveny v šikmém směru proti sobě tak, aby průsečnice rovin procházejících jejich podélnými osami ležela v rovině pokrývaného substrátu 3. Jednotlivé plazmové trysky 4 jsou tvořeny chladičem 41, vyrobeným s výhodou z mědi, kterým protéká
 10 chladičí kapalina, například voda, a který je přes ochranný rezistor 5 vodivě spojen se zdrojem 6 napětí. Chladič 41 těsně obepíná dutou katodu 44, jejíž výtoková část přesahuje spodní okraj chladiče 41 přibližně o 15 až 20 mm a která navazuje na pracovní trubici 42, kterou proudí inertní pracovní plyn. Samotný chladič 43 je vně obklopen izolačním krytem 43, například keramickým nebo křemenným, zabráňujícím zapalování parazitních výbojů v průběhu depozice.

10 V plášti vakuové komory 1 jsou vytvořeny otvory 103, které jsou umístěny na úrovni dutých katod 44 plazmových trysek 4 a které jsou opatřeny průhlednými průzory 7, vyrobenými například z borosilikátového skla. Za každým z těchto průzorů 7 je vně vakuové komory 1 instalován infračervený pyrometr 8, který je nasměrován na koncovou část duté katody 44 za účelem sledování její povrchové teploty. Celé zařízení je pak vybaveno řídicí jednotkou 9, na níž jsou napojeny
 15 jak infračervené pyrometry 8, tak zdroje 6 napětí jednotlivých plazmových trysek 4 a pohonný mechanismus chladičího válce 21 nosné soupravy 2.

Při depozici tenké vrstvy na substrát 3 je v každé plazmové trysce 4 je samostatně zapálen výboj, jehož parametry jsou řízeny prostřednictvím vnějšího zdroje 6 napětí. Spodní okraj duté katody
 20 44, který vyčnívá z měděného chladiče 41 a není tudíž chlazený, se v důsledku iontového bombardmentu v průběhu depozičního procesu ohřeje na vysokou teplotu přesahující už při nízkých proudtech hodnotu 1000 °C. Tato teplota jednotlivých dutých katod 44 je individuálně bezkontaktně sledována infračervenými pyrometry 8, které odesílají signál o aktuální povrchové teplotě duté katody 44 do řídicí jednotky 9, která je vyhodnocuje a upravuje na základě obdrženého signálu výbojový proud. Činnost řídicí jednotky 9 se řídí algoritmem, který je zobrazen na obr. 3. V závislosti na výbojovém režimu každé plazmové trysky 4 reguluje řídicí jednotka 9 efektivní hodnotu proudu, a to buď střední hodnotu proudu, v případě plazmové trysky 4 pracující v DC režimu, nebo střidu, v případě plazmové trysky 4 pracující v pulzním režimu, kdy je kontrolován poměr mezi aktivní a pasivní částí pulzu. Řídicí jednotka 9 testuje odchylku aktuální a požadované teploty a je-li tato odchylka větší než povolená tolerance AT, sníží proud nebo zkrátí střidu, je-li teplota trysky vyšší než požadovaná a naopak. Jedinou výjimkou je indikace zapálení obloukového výboje. Dojde-li v průběhu depozice k zapálení elektrického oblouku mezi výstupní částí
 30 duté katody 44 a libovolnou anodou uvnitř vakuové komory 1, je tento vznik oblouku vždy doprovázen prudkým poklesem teploty duté katody 44 pod kritickou teplotu T_k nebo pod hranici měřitelnosti příslušného pyrometru 8. V takovém případě řídicí jednotka 9 přeruší depoziční proces, např. vysunutím neznázorněné clony mezi systém plazmových trysek 4 a substrát 3, a to až do doby, než dojde k obnovení stabilních depozičních podmínek. Základním úkolem řídicí jednotky je udržovat teplotu všech dutých katod 44 v průběhu depozičního procesu na stejných hodnotách tak, aby depoziční rychlosti jednotlivých plazmových trysek 4 byly shodné. Aby tento jednoduchý regulační mechanismus fungoval, je nutné, aby všechny duté katody 44 byly vyrobeny ze stejného materiálu, měly stejné geometrické rozměry, tedy délku, vnitřní a vnější průměr, byly vyústěny ve stejné vzdálenosti od substrátu 3 a byly protékány stejným proudem pracovního plynu. Z provedených experimentů se ukázalo, že při splnění těchto podmínek je depoziční rychlost jednoznačnou funkcí teploty, což je dokladováno grafickým znázorněním na obr. 6. Závislost
 45 depoziční rychlosti na výkonu je pak znázorněna na obr. 5 a na obr. 4 je uvedeno grafické znázornění porovnání tloušťkového profilu vytvářených tenkých vrstev naprašovaných vícetryskovým systémem podle vynálezu z různých vzdáleností. S pomocí zmíněného grafu lze prokázat, že např. pro titanové duté katody 44 o vnitřním průměru 6 mm, průtoku argonu cca 200 sccm, pracovním tlaku 15 Pa a pro vzdálenost plazmové trysky 4 od substrátu 3 o velikosti 5 cm, má naprašovaná vrstva Gaussovský profil s odpovídajícím rozptylem $\sigma \approx 1,9$ cm. V takovém případě postačuje k naprašování vrstvy o maximální nehomogenitě 10% umístit jednotlivé plazmové trysky 4 s rozestupy 4,4 cm od sebe. Toto však platí pouze za předpokladu, že depoziční rychlost jednotlivých plazmových trysek 4 je stejná.

Popsaná konstrukce zařízení není jediným možným provedením podle vynálezu, ale jak je patrné z obr. 3, může být do vnitřního prostoru 101 nainstalována pouze jedna řada plazmových trysek 4, nebo jak plyne z obr. 8 a obr. 9, může být zařízení vybaveno dvěma dvojicemi řad plazmových trysek 4. Nosná souprava 2 pro uložení substrátu 3 nemusí být tvořena chladicím válcem 21 a naváděcími válci 22, ale může být tvořena horizontálně posuvným plochým stolcem vybaveným prostředky pro upevnění substrátu 3, například desky nebo plátu, na který se tenká vrstva deponuje.

10 Průmyslová využitelnost

Způsob řízení rychlosti depozice tenkých vrstev ve vakuovém vícetryskovém plazmovém systému a zařízení k provádění tohoto způsobu konstruované podle vynálezu jsou vhodné pro využití ve všech průmyslových oborech zabývajících se vysokorychlostní plazmatickou depozicí tenkých vrstev. Lze je sice využít i pro depozice čistých kovů, hlavní uplatnění však najde zejména u reaktivního naprašování oxidových sloučenin, jako jsou vrstvy TiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , ZrO_2 , WO_3 , ZnO a řada dalších.

PATENTOVÉ NÁROKY

25 1. Způsob řízení rychlosti depozice tenkých vrstev ve vakuovém vícetryskovém plazmovém systému využívajícím plazmochemické reakce v aktivní zóně generovaného výboje a tvořeném alespoň jednou řadou plazmatických trysek (4), jejichž pracovní trubice (42) jsou zakončeny dutou katodou (44), jejíž ústí je ustaveno v blízkosti horní plochy nosné soupravy (2) s uloženým substrátem (3), **v y z n a č u j í c í s e t í m**, že při depozici tenké vrstvy na substrát (3) je po
30 samostatném zapálení výbojů v každé plazmové trysece (4) a při řízení jejich parametrů prostřednictvím vnějších zdrojů (6) napětí je teplota každé duté katody (44) bezkontaktně monitorována vlastním pyrometrem (8) a na základě vyhodnocení naměřených hodnot teploty a nastavených parametrů výboje je pomocí řídicí jednotky (9) regulován efektivní proud v každé z plazmatických trysek (4) tak, aby depoziční rychlosti všech dutých katod (44) plazmatických trysek (4)
35 byly shodné.

2. Způsob řízení rychlosti depozice tenkých vrstev podle nároku 1, **v y z n a č u j í c í s e t í m**, že v případě stejnosměrného výboje je regulována střední hodnota proudu a v případě pulzně modulovaného výboje je regulována střída.

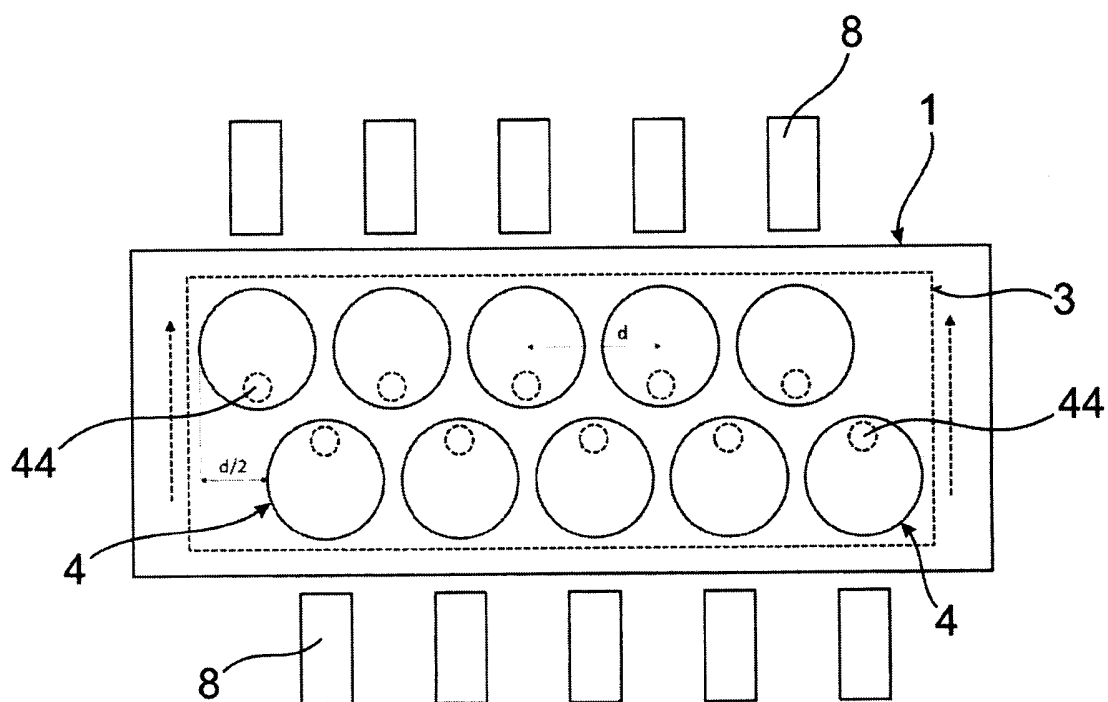
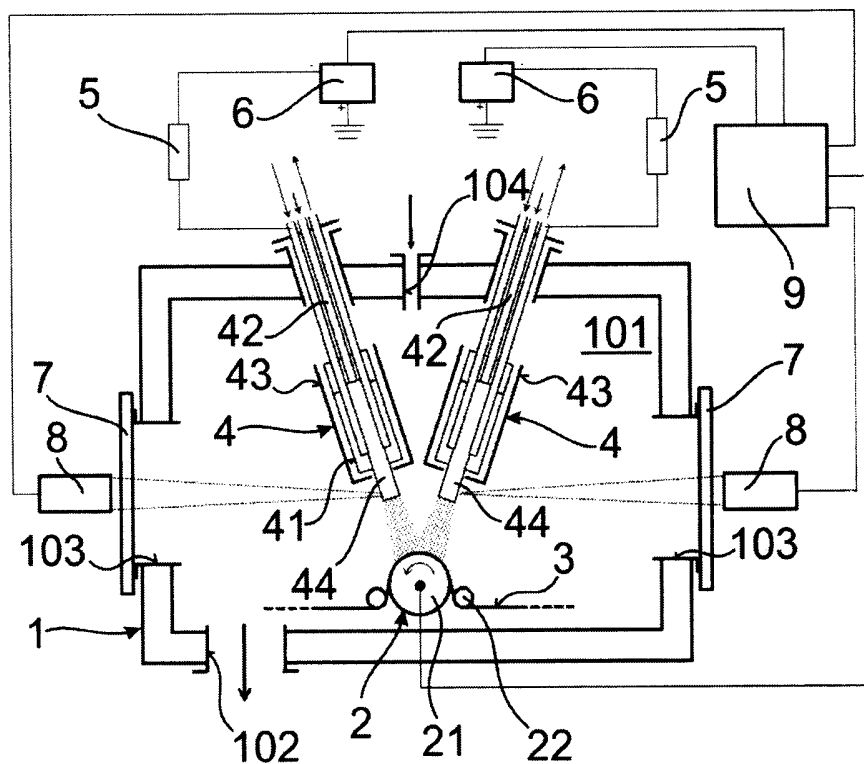
40 3. Zařízení k provádění způsobu řízení rychlosti depozice tenkých vrstev ve vakuovém vícetryskovém plazmovém systému využívajícím plazmochemické reakce v aktivní zóně generovaného výboje a tvořeném alespoň jednou řadou plazmatických trysek (4), jejichž pracovní trubice (42) jsou zakončeny dutou katodou (44), jejíž ústí je ustaveno v blízkosti horní plochy nosné soupravy (2) s uloženým substrátem (3), **v y z n a č u j í c í s e t í m**, že v plášti vakuové komory (1) jsou vytvořeny otvory (103), které jsou umístěny na úrovni dutých katod (44) plazmových trysek (4) a které jsou opatřeny průhlednými průzory (7), za každým z nichž je vně vakuové komory (1) instalován infračervený pyrometr (8), který je nasměrován na koncovou část duté katody (44) za účelem sledování její povrchové teploty a je napojen na řídicí jednotku (9), na níž
50 jsou dále napojeny zdroje (6) napětí jednotlivých plazmových trysek (4) a pohonný mechanismus nosné soupravy (2).

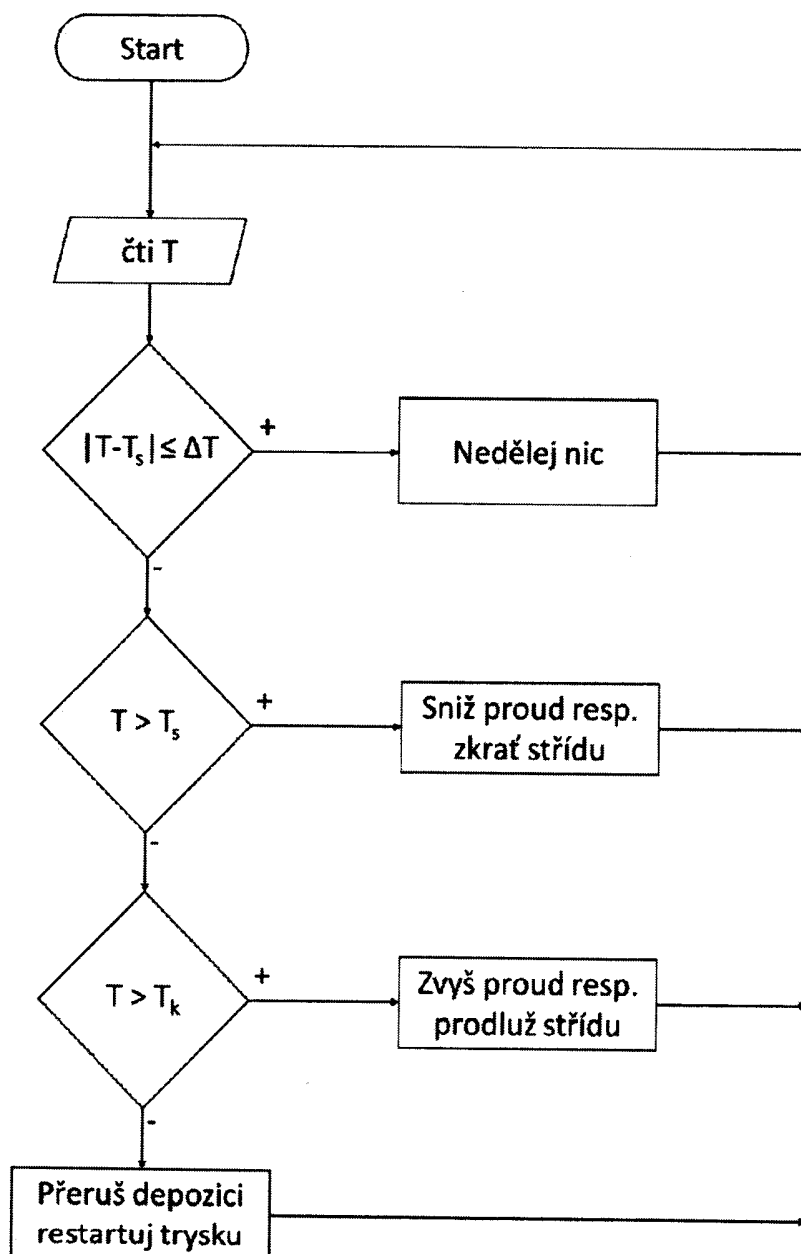
4. Zařízení podle nároku 3, **v y z n a č u j í c í s e t í m**, že při vybavení vakuové komory (1) dvěma řadami nebo dvěma dvojicemi řad plazmových trysek (4) jsou plazmové trysky (4) v
55 každé řadě uloženy ekvidistantně tak, že mezi každými dvěma sousedními plazmovými tryskami

(4) je stejná vzdálenost (d), přičemž v řadách vzájemně protilehlé plazmové trysky (4) jsou vždy ve směru kolmém na posuv substrátu (3) vzájemně posunuty o polovinu vzdálenosti (d), kde plazmové trysky (4) v obou řadách jsou vzhledem k umístění substrátu (3) ustaveny v šikmém směru proti sobě tak, že průsečnice rovin procházejících jejich podélnými osami leží v rovině pokrývaného substrátu (3).

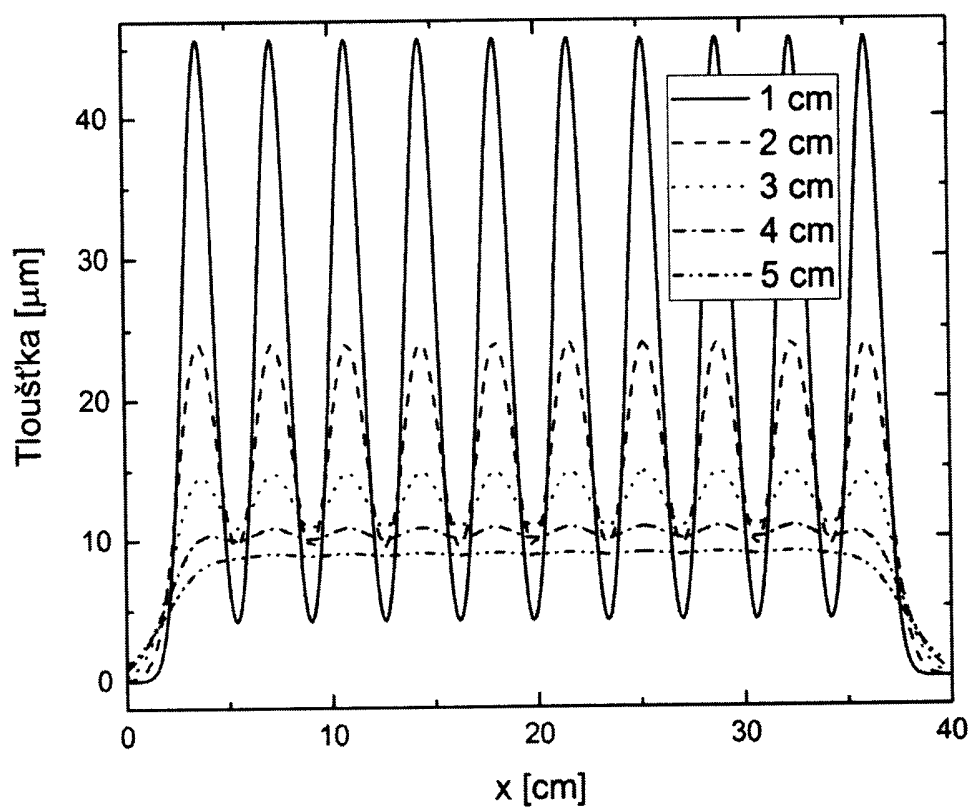
10

6 výkresů

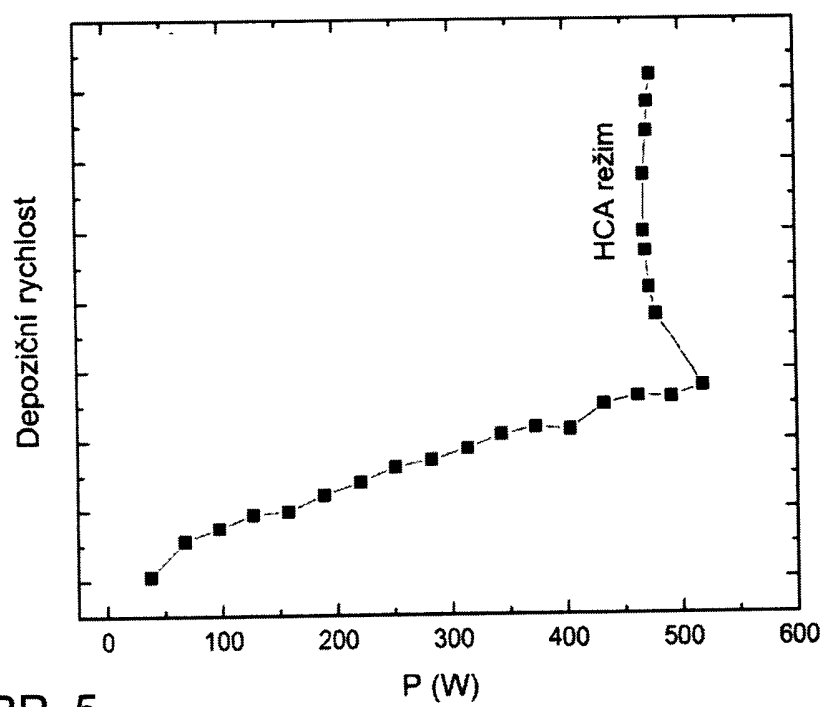




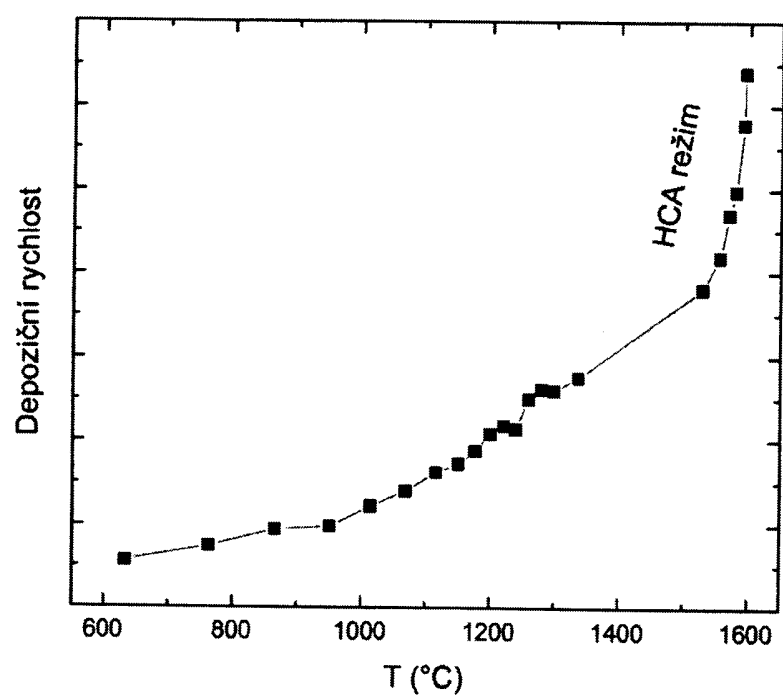
OBR. 3



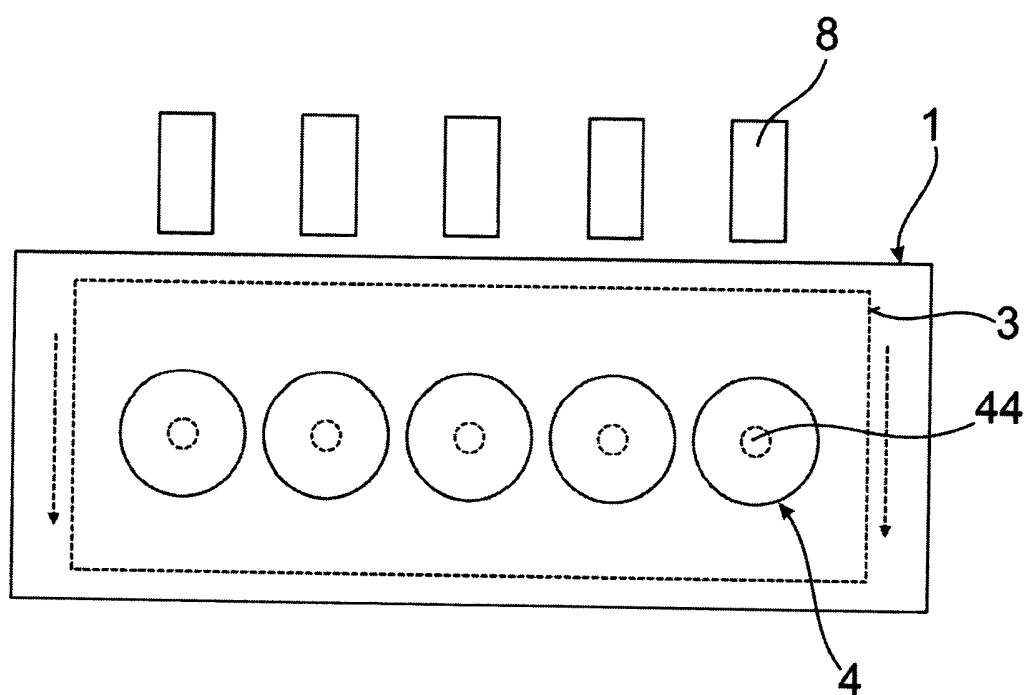
OBR. 4



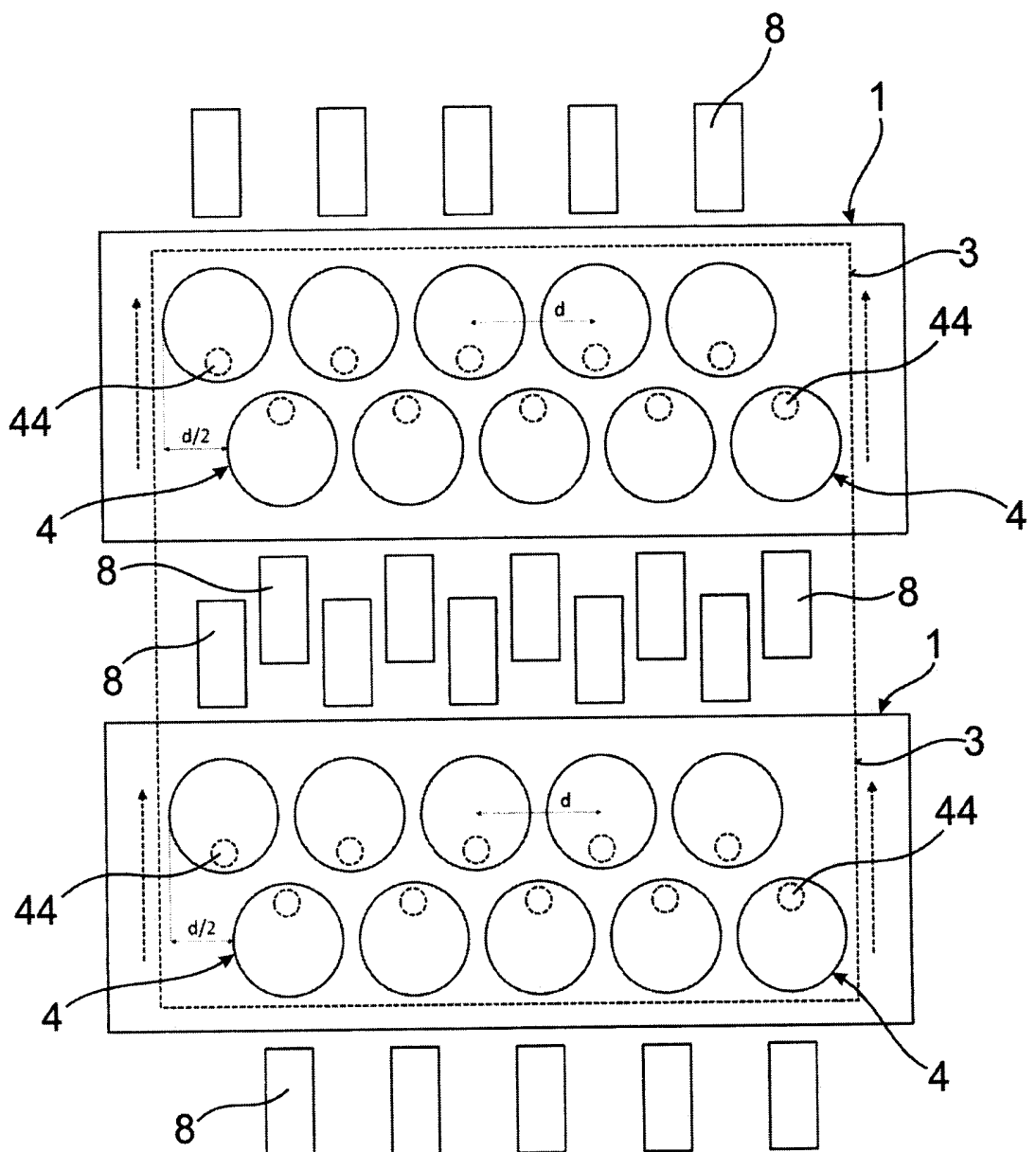
OBR. 5



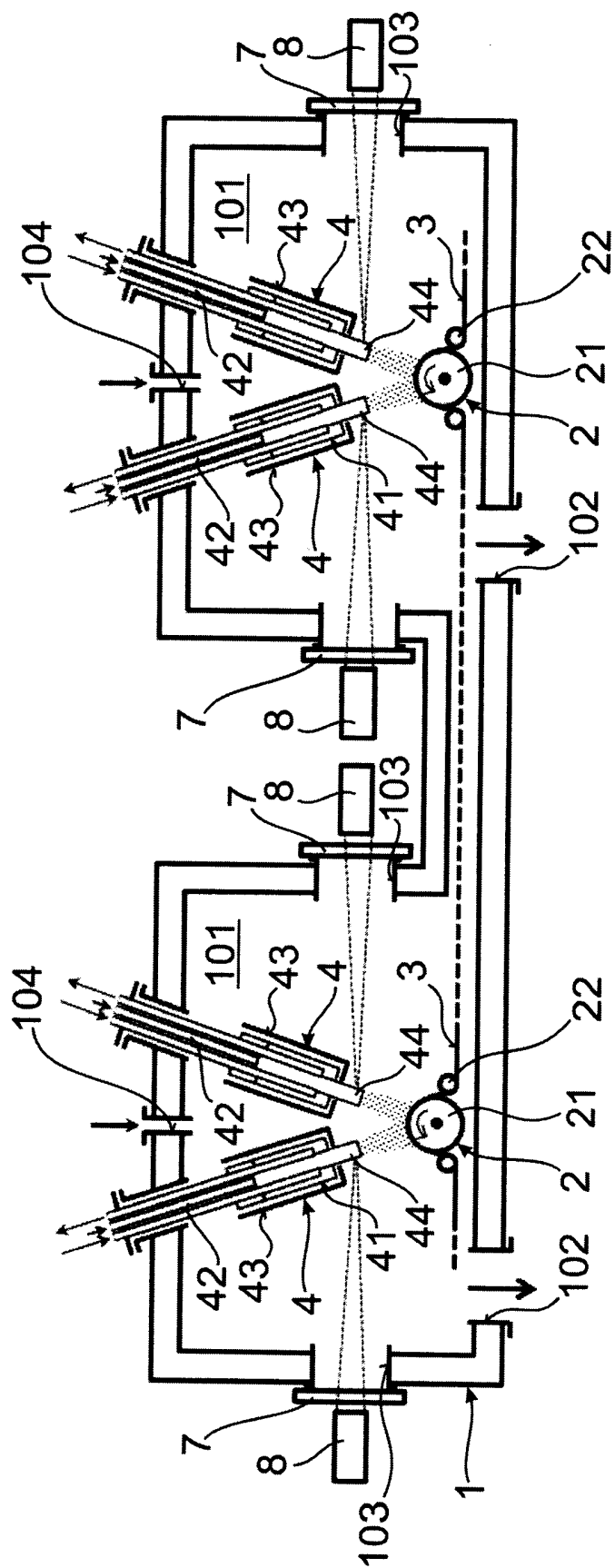
OBR. 6



OBR. 7



OBR. 8



OBR. 9

Konec dokumentu