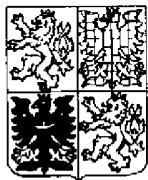


# PŘIHLÁŠKA VYNÁLEZU

zveřejněná podle § 31 zákona č. 527/1990 Sb.

(19)  
ČESKÁ  
REPUBLIKA



ÚŘAD  
PRŮMYSLOVÉHO  
VLASTNICTVÍ

- (22) Přihlášeno: 03.11.1998  
(32) Datum podání prioritní přihlášky: 20.11.1997  
(31) Číslo prioritní přihlášky: 1997/9704260  
(33) Země priority: SE  
(40) Datum zveřejnění přihlášky vynálezu: 16.08.2000  
(Věstník č. 8/2000)  
(86) PCT číslo: PCT/SE98/01983  
(87) PCT číslo zveřejnění: WO99/27758

(21) Číslo dokumentu:

2000 - 1853

(13) Druh dokumentu: A3

(51) Int. Cl. 7:

H 05 H 1/02  
H 05 H 1/14  
H 05 H 1/50  
C 23 C 14/34

(71) Přihlašovatel:

BARÁNKOVÁ Hana, Uppsala, SE;  
BÁRDOS Ladislav, Uppsala, SE;

(72) Původce:

Baránková Hana, Uppsala, SE;  
Bárdos Ladislav, Uppsala, SE;

(74) Zástupce:

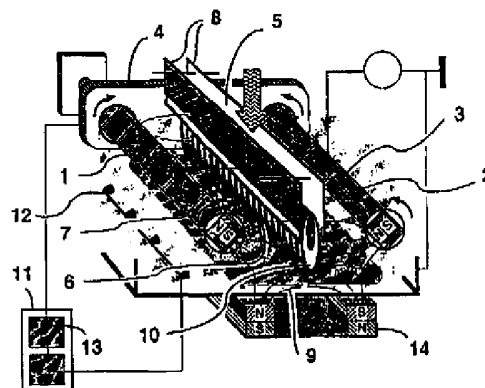
PATENTSERVIS PRAHA a.s., Jivenská 1, Praha 4,  
14000;

(54) Název přihlášky vynálezu:

**Zařízení pro plazmatické procesy**

(57) Anotace:

Zařízení sestává z nejméně jednoho páru prvního otočného systému (1) permanentních magnetů a druhého otočného systému (2) permanentních magnetů zahrnující dále jednotlivé permanentní magnety (3) a jsou umístěny proti sobě. Jednotlivé permanentní magnety (3) mají maximální magnetickou indukci vyšší než  $10^{-1}$  Tesla. Dále zařízení sestává z řídicího systému (4), určeného k řízení pohybu permanentních magnetů (3), použitého v kombinaci se základním zařízením (5) pro plazmatické procesy. Pomocí otočného systému permanentních magnetů se vytváří časově proměnné magnetické silokřivky (6) pro ovlivňování plazmatu (7) vytvořeného základním zařízením pro plazmatické procesy. Dále je využit kontrolní systém (11), skládající se ze systému (12) čidel a systému (13) zpětné vazby spojené s řídicím systémem (4) pro řízení pohybu permanentních magnetů (3) otočných systémů (1, 2) permanentních magnetů, s ohledem na změny v plazmatu vytvářeném základním zařízením (5) pro plazmatické procesy.



## ZAŘÍZENÍ PRO PLAZMATICKÉ PROCESY

### Oblast techniky

Vynález se týká zařízení pro plazmatické procesy s využitím otočných magnetů, zvláště pro procesy s obloukovým výbojem, pro depozice magnetronovým naprašováním, nebo leptací procesy.

### Dosavadní stav techniky

Zdroje hustého plazmatu a zařízení pro nízkotlaké plazmatické procesy opracování povrchů využívají magnetická pole. Magnetické pole lze použít pro magnetické udržení elektronů a iontů v plazmatu. Vektor Lorentzovy síly  $F$ , který ovlivňuje pohyby nabitých částic je definován jako:

$$F = q (v \times B),$$

kde  $v$  je vektor rychlosti nabitě částice (elektronu nebo iontu) s nábojem  $q_{e,i}$  a  $B$  je vektor magnetické indukce. Lorentzova síla působí na elektrony a ionty, které mají nenulový vektorový součin  $(v \times B)$ , tj. mají složku rychlosti  $v_{\text{norm}}$  ( $e_i$ ) kolmou k vektoru  $B$ . Tyto elektrony a ionty (s hmotností  $m_{e,i}$ ) jsou nuceny se otáčet kolem magnetických siločar s Larmorovým poloměrem definovaným jako

$$r_{e,i} = v_{\text{norm}}(e_i) m_{e,i} / q_{e,i} B.$$

Nejtypičtější hnací síla pro nabitě částice je elektrické pole (vektor  $E$ ). V tomto případě mají výsledné toky částic směr (drift) daný vektorovým součinem  $(E \times B)$ . Připomeňme, že čím vyšší je rychlost částice (energie), která závisí na velikosti pole  $E$ , srážkách, atd, tím větší musí být magnetická indukce  $B$ , aby Larmorův poloměr zůstal stejný. Čím je vyšší indukce  $B$ , tím menší je Larmorův poloměr částic. Tyto vztahy jsou velmi důležité, protože magnetické udržení může být účinné pouze v případech, kdy rozměry komory reaktoru jsou větší než Larmorovy poloměry částic. Jinak částice rekombinují na stěnách reaktoru. V silných magnetických polích jsou Larmorovy poloměry malé a plazma může být udrženo v malých objemech. Díky sníženým rekombinačním ztrátám vede magnetické udržení k hustšímu plazmatu ve srovnání s případy bez magnetických zařízení. Při nízkých tlacích plynu, kdy jsou srážky mezi částicemi méně časté, jsou volné dráhy částic obvykle delší než rozměry komor reaktorů. Částice mohou získat vysokou energii od generujících polí a stěnová rekombinační rychlost může převýšit rychlost ionizace. Takové plazma nemůže existovat bez přídavného magnetického udržení.

ionizace. Takové plazma nemůže existovat bez přídavného magnetického udržení.

Magnetické pole může být použito také jak aktivní složka při různých mechanismech generace plazmatu. Například při elektronové a iontové cyklotronní rezonanci (ECR, ICR), kde magnetická indukce  $B$  souvisí jak s frekvencí generátoru, tak s hmotností elektronu či iontu:

$$B = \omega me / qci.$$

Jinými příklady jsou hybridní rezonance, ohřev plazmatu za pomoci Landauovského útlumu, apod. Při optimální hodnotě magnetické indukce a při optimálním tvaru magnetického toku může být rezonanční generace hustého plazmatu kombinována s jeho udržením v definovaném objemu.

Různé obměny magnetických udržení (plazmatických pastí) pro radiofrekvenční (RF) doutnavé výboje za použití statických magnetických polí generovaných elektromagnetickými cívkami byly patentovány A.S. Penfoldem a J.A. Thorntonem (U.S. Patent č. 4,116,794 z 26-09-1978). Patent představuje různá uspořádání magnetických cívek optimalizovaná pro různé geometrie RF elektrod. Účelem této optimalizace je maximalizovat udržení výboje a jeho setrvání do nízkých tlaků plynu ve výbojové komoře. Všechna nárokovaná uspořádání cívek jsou statická jak v čase, tak v prostoru.

Je také možno "pohybovat" magnetickým polem v prostoru, buď pomocí pohybu samotné cívky, nebo postupným zapojováním proudu do cívek tvořících jistou řadu. Magnetické pole s pohybující se cívkou bylo například použito v mikrovlnných ECR výbojích (R. Hytry et al, J.Vac.Sci.Technol., 1993). Periodické přemísťování pole ve statickém systému elektromagnetů pomocí postupného přesouvání proudu z generátoru do jednotlivých cívek bylo využito v induktivním RF výboji M. Muratou et al (Vacuum 1997). Tyto pohyby magnetického pole jsou založeny na prostorovém přesunu magnetických prostředků, beze změny tvaru magnetických silokřivek a geometrie pole.

Obecně není návrh vhodného tvaru magnetického pole pomocí elektromagnetických cívek možný v případech, kdy je požadována velká magnetická indukce v malých objemech, nebo na omezených plochách. S ohledem na tyto problémy byl "průlomem" rok 1984, kdy byly objeveny silné permanentní magnety založené na ternárních intermetalických sloučeninách, například Nd-Fe-B (viz kniha "Ferromagnetic materials", E.P. Wohlfarth and K.H.J. Buschow, North-Holland 1988, Kapitola 1, obr.1, str. 4 a 5). Tento typ magnetů může poskytnout velmi silné magnetické pole (více než 0.1 T na povrchu magnetu). Ve většině praktických případů tyto magnety plně nahrazují elektromagnetické cívky a umožňují použití magnetických polí s dobře definovanými tvary ve vybraném prostoru. Nejdůležitější je možnost vytvoření intenzivních lokálních magnetických polí s příslušným tvarem magnetických silokřivek, což není prakticky možné pomocí cívek.

Lokální magnetické pole bylo použito v zařízení pro generaci lineárního obloukového výboje pro plazmatické procesy (LAD) L. Bárdošem a H. Baránkovou (Švédský patent, publikační č. SE 503 141, listopad 1994), zvláště pro opracování povrchů pevných substrátů. V tomto zařízení je pár proti sobě umístěných elektrodových desek zapojený na společný pól generátoru a umístěný v magnetickém poli vytvořeném magnety, pro vytvoření lineárních horkých oblastí na elektrodových deskách, kde se generuje obloukový výboj. Elektrodové desky tvoří planoparalelní dutou katodu, zápornou vzhledem k okolnímu plazmatu, které představuje virtuální anodu. Horké oblasti se vytvoří v důsledku iontového bombardování povrchu desek ve výboji duté katody mezi těmito deskami. Magnetické pole kolmé k deskám katody v tomto zařízení zesiluje výboj duté katody ve štěrbině mezi deskami. Poloha magnetů může být nastavena vzhledem k elektrodovým deskám pomocí nastavovače a rozložení magnetického pole je nastaveno magnety a pomocnými magnety. Magnetické pole použité ve zdroji LAD je tedy stacionární jak v prostoru, tak v čase. Pro vybrané hodnoty průtokové rychlosti plynu, tlaku plynu, atd, může být magnetické pole nastaveno a optimalizováno pro rovnoměrné rozložení výsledné hustoty plazmatu podél štěrbin. Avšak vlivem nenulové síly  $v \times B$  v mnoha praktických aplikacích mají ionty tendenci se koncentrovat více k některé straně dutokatodové štěrbin. Časově závislé změny parametrů výboje během provozu LAD zdroje mohou způsobit změny jak rychlosti částic, tak rozložení elektrických polí ve výboji. Toto může způsobit nerovnoměrnou erozi katodového materiálu při obloukovém rozprašování a/nebo odpařování, a v důsledku toho i nerovnoměrnou rychlost procesu na substrátech.

Jiným příkladem použití silných permanentních magnetů je dobře známé magnetronové rozprašovací/leptací zařízení. Principy a parametry různých magnetronových systémů pro leptání rozprašováním / depoziční procesy jsou popsány v mnoha pracích. Bez ohledu na jejich již skoro "klasický" koncept a komerční dostupnost již od roku 1976, jsou magnetrony stále podrobovány konstrukčním změnám. Důvody jsou buď nedostatečná hustota plazmatu na substrátu pro některé aplikace, nebo neefektivní a nerovnoměrné využití magnetronového terče, doprovázené malou erozní zónou na terči během rozprašování. První z uvedených problémů může být částečně řešen "znerovnovážením" (otevřením) magnetických silokřivek umožňujícím expanzi plazmatu k substrátu (B. Window a N. Savvides, 1986), nebo dodatečným ionizačním zařízením, například dutou katodou (J.J. Cuomo et al, U.S. Patent no. 4,588,490 přihlášen 22-05-1985), alternativně pomocnou RF cívkou (S.M. Rossnagel a J. Hopwood, Appl. Phys. Lett., 1993). Druhý uvedený problém lze redukovat v magnetronech s rotačním válcovým terčem "C-Mag" (M. Wright et al, J. Vac. Sci. Technol., 1986; A. Belkind et al., Thin Solid Films 1991) a v magnetronech s dutým terčem (viz U.S. Patent No. 5,073,245, V.L. Hedgcoth, 1991). Pohyb terče vzhledem k magnetickému poli může být nahrazen posouváním magnetického pole pod terčem. Toto je popsáno v přihlášce Evropského patentu EP-B1-0 603

magnetického pole pod terčem. Toto je popsáno v přihlášce Evropského patentu EP-B1-0 603

587 (Balzers AG, 1992), kde systém permanentních magnetů tvořící tunelový tvar magnetického pole je přesouván do stran pod terčem. Magnetické póly mohou být navíc pivotovány a synchronizovány se stranovým pohybem tak, aby se prodloužil stranový posun tunelového pole a tím se zvětšila eroze terče. Jiné řešení je založeno na nových tvarech magnetických polí s využitím permanentních magnetů, jak uvádí U.S. Patent No. 5,262,028 od Sierra Applied Sciences, Inc. Přehled různých uspořádání magnetických polí ve všech známých magnetronech byl publikován například J. Musilem et al (Vacuum, 1995) nebo R. Kuklou (Surf. Coat. Technol., 1997). Ve všech magnetronech se využívá buď stacionární magnetické pole (uzavřené nebo nerovnovážné), nebo se pole během procesu pohybuje vzhledem k terči (např. C-Mag), ale bez podstatné změny svého tvaru. Rozprašovací režimy jsou proto "předurčeny".

### Podstata vynálezu

Předmětem tohoto vynálezu je zcela nebo do značné míry odstranit nedostatky ve shora uvedeném stavu techniky, a to pomocí zařízení s otočnými magnety pro dosažení laditelného časově proměnného magnetického pole.

Podle prvního význaku tohoto vynálezu sestává zařízení pro plazmatické procesy, vybavené prostředky pro generaci plazmatického výboje a prostředky pro udržení tohoto plazmatického výboje v magnetickém poli, z nejméně jednoho páru prvního otočného systému permanentních magnetů a druhého otočného systému permanentních magnetů, složených z jednotlivých permanentních magnetů a tyto systémy permanentních magnetů jsou umístěny proti sobě, přičemž jednotlivé permanentní magnety mají maximální magnetickou indukci vyšší než  $10^{-1}$  Tesla, z řídicího systému který je určen k řízení pohybu permanentních magnetů v otočném systému permanentních magnetů, ze základního zařízení pro plazmatické procesy, které je použito v kombinaci s tímto otočným systémem permanentních magnetů, pro vytvoření časově proměnných magnetických silokřivek a pro ovlivňování plazmatu vytvořeného tímto základním zařízením pro plazmatické procesy, z kontrolního systému, který se skládá ze systému čidel a systému zpětné vazby, je spojený s uvedeným řídicím systémem a je určený k řízení pohybu permanentních magnetů v otočných systémech permanentních magnetů s ohledem na změny ve zmíněném plazmatu.

Podle druhého význaku tohoto vynálezu sestává zařízení pro plazmatické procesy, vybavené prostředky pro generaci plazmatického výboje a prostředky pro udržení tohoto plazmatického

prostředky pro generaci plazmatického výboje a prostředky pro udržení tohoto plazmatického

výboje v magnetickém poli, z nejméně jednoho páru prvního otočného systému permanentních magnetů a druhého otočného systému permanentních magnetů, složených z jednotlivých permanentních magnetů, tyto systémy permanentních magnetů jsou umístěny proti sobě, přičemž jednotlivé permanentní magnety mají maximální magnetickou indukci vyšší než  $10^{-1}$  Tesla, z řídicího systému, který je určen k řízení pohybu těchto permanentních magnetů v otočném systému permanentních magnetů, ze základního zařízení pro plazmatické procesy, sestávajícího ze zdroje lineárního obloukového výboje s nejméně jedním párem desek duté katody a umístěného v magnetickém poli, ve kterém jsou stacionární magnetické silokřivky buď nahrazeny nebo ovlivněny časově proměnnými magnetickými silokřivkami vytvořenými pomocí zmíněných otočných systémů permanentních magnetů pro generaci časově proměnného plazmatu duté katody, z kontrolního systému, který se skládá ze systému čidel a systému zpětné vazby, je spojený s uvedeným řídicím systémem a je určený k řízení pohybu permanentních magnetů v otočných systémech permanentních magnetů s ohledem na změny ve zmíněném časově závislém plazmatu duté katody.

Podle třetího význaku tohoto vynálezu sestává základní zařízení pro plazmatické procesy z magnetronového zdroje se stacionárním systémem magnetů, ve kterém jsou otočné systémy permanentních magnetů určeny k vytvoření časově proměnných magnetických silokřivek, které procházejí terčem magnetronu pro generaci časově závislého magnetronového plazmatu.

Podle čtvrtého význaku tohoto vynálezu sestává základní zařízení pro plazmatické procesy z magnetronového zdroje s otáčivým magnetronovým terčem, ve kterém jsou otočné systémy permanentních magnetů instalovány na držáku spolu se stacionárním systémem magnetů.

Podle pátého význaku tohoto vynálezu sestává základní zařízení pro plazmatické procesy z aktivního plazmatu v reaktoru, kde otočné systémy permanentních magnetů jsou umístěny vně a/nebo uvnitř tohoto reaktoru k vytvoření časově proměnných magnetických silokřivek, pro generování časově závislých oblastí hustého plazmatu.

Podle šestého význaku tohoto vynálezu jsou otočné systémy permanentních magnetů sestaveny z individuálních permanentních magnetů s rozdílnými magnetickými indukcemi a/nebo rozdílnými směry magnetických silokřivek.

Podle sedmého význaku tohoto vynálezu řídicí systém pro řízení pohybů permanentních magnetů v otočných systémech permanentních magnetů umožňuje řízení těchto otočných systémů permanentních magnetů v krokovém pohybu, nebo ve vibračním operačním módu kolem vybraných poloh.

#### Popis obrázků na výkresech

Předměty, vlastnosti a výhody tohoto shora uvedeného vynálezu se stanou zjevnými z jeho popisu ve spojení s připojenými obrázky, kde:

OBR. 1 je schematický obrázek prvního ztělesnění tohoto vynálezu, ukazující příklad zařízení pro plazmatické procesy s otočnými magnety, pro procesy v lineárním obloukovém výboji (LAD) v časově závislém plazmatu duté katody;

OBR. 2 je schematický obrázek druhého ztělesnění tohoto vynálezu, ukazující jiný příklad zařízení pro plazmatické procesy s otočnými magnety, ve spojení s magnetronovým zařízením, pro generaci časově závislého magnetronového plazmatu;

OBR. 3 je schematický obrázek třetího ztělesnění tohoto vynálezu, ukazující další příklad zařízení pro plazmatické procesy s otočnými magnety, které jsou instalovány v magnetronovém zařízení s otáčivým terčem, pro generaci časově závislého magnetronového plazmatu;

OBR. 4 je schematický obrázek čtvrtého ztělesnění tohoto vynálezu, ukazující jiný další příklad zařízení pro plazmatické procesy s otočnými magnety v reaktoru s aktivním plazmatem pro generaci časově závislých oblastí hustého plazmatu;

OBR. 5 ukazuje příklad zařízení pro plazmatické procesy s otočnými magnety podle prvního ztělesnění tohoto vynálezu pro postupné 45° změny polohy otočných systémů permanentních magnetů od 0° do 315°, vliv na rozložení magnetických silokřivek, vliv na rozložení plazmatu a na rozložení horkých oblastí na elektrodových deskách v plazmatu duté katody, generovaném zařízením podle OBR. 1;

OBR. 6 ukazuje příklad zařízení pro plazmatické procesy s otočnými magnety podle prvního ztělesnění tohoto vynálezu pro postupné 45° změny polohy otočných systémů permanentních magnetů od 0° do 315°, vliv na rozložení magnetických silokřivek a magnetických silokřivek vytvořených stacionárním magnetickým systémem, a vliv na rozložení plazmatu;

OBR. 7 ukazuje příklad zařízení pro plazmatické procesy s otočnými magnety podle druhého ztělesnění tohoto vynálezu pro postupné 45° změny polohy otočných systémů permanentních magnetů od 0° do 315° s ohledem na stacionární systém magnetů v magnetronovém zařízení, vliv na rozložení magnetických silokřivek a na rozložení magnetronového plazmatu v zařízení podle OBR. 2;

OBR. 8 ukazuje příklad zařízení pro plazmatické procesy s otočnými magnety podle druhého ztělesnění tohoto vynálezu pro postupné 45° změny polohy otočných systémů permanentních magnetů od 0° do 315° s ohledem na stacionární systém magnetů v magnetronovém zařízení, vliv na rozložení magnetických silokřivek a na rozložení plazmatu v zařízení podle OBR. 2;

OBR. 9 je jiný příklad, který ukazuje zjednodušený pohled na otočné systémy permanentních magnetů v zařízení pro plazmatické procesy podle tohoto vynálezu a uspořádání jednotlivých permanentních magnetů.

#### Detailní popis

Podle OBR. 1 bude popsáno první ztělesnění zařízení pro plazmatické procesy s otočnými magnety podle tohoto vynálezu. Nejméně jeden pár prvního otočného systému permanentních magnetů 1 a druhého otočného systému permanentních magnetů 2 obsahujících jednotlivé permanentní magnety 3 je umístěn proti sobě. Aby se zajistil dostatečný magnetický tok v prostoru mezi otočnými systémy permanentních magnetů, jednotlivé permanentní magnety by měly mít maximální magnetickou indukci vyšší než  $10^{-1}$  Tesla (1000 Gauss). Silné permanentní magnety NdFeB, které vykazují na svém povrchu indukci kolem 0.5 Tesla, nebo dokonce víc, jsou vhodné pro tento účel. Otočné systémy permanentních magnetů jsou poháněny řídicím systémem 4, který například uděluje rotaci otočným systémům permanentních magnetů ve směru proti sobě. Otočné systémy permanentních magnetů jsou použity v kombinaci se základním zařízením pro plazmatické procesy 5, například se zařízením pro lineární obloukový

základním zařízením pro plazmatické procesy 5, například se zařízením pro lineární obloukový

vývoj (LAD), představeným v OBR. 1, jako první ztělesnění tohoto vynálezu. Pohyby otočných systémů permanentních magnetů způsobují, že jak rozložení magnetického toku, tak hodnota magnetické indukce v prostoru mezi otočnými systémy permanentních magnetů se mění v čase. Časově proměnné magnetické siločivky 6 ovlivňují plazma 7, vytvořené základním zařízením pro plazmatické procesy. V případě zařízení LAD se statické permanentní magnety vytvářející magnetické pole napříč deskami duté katody 8, mohou výhodně nahradit otočnými systémy permanentních magnetů. V tomto případě je vývoj lineárních horkých oblastí na elektrodových deskách zařízení LAD závislý na změnách magnetických siločivek 6 a generuje se tak časově závislé plazma duté katody 10. Navíc jsou magnetické siločivky 9, generované pomocí stacionárního systému magnetů 14, rovněž ovlivněny otočnými systémy permanentních magnetů. Tento vliv způsobuje časově závislé změny plazmatu generovaného zařízením. V nejjednodušším případě, rovnoměrné otáčení otočných systémů permanentních magnetů způsobuje symetrizaci hustoty plazmatu duté katody podél katodové štěrbin, nezávisle na změnách experimentálních parametrů, například průtoku plynu, tlaku plynu, výkonu, atd. Frekvence otáčení otočných permanentních magnetů představuje nový parametr pro řízení procesu, který neexistuje v zařízeních LAD se statickým polem. Otočné systémy permanentních magnetů mohou být řízeny rovněž v krokovém pohybu, nebo ve vibračním operačním módu kolem vybraných poloh. Tyto pohyby mohou být s výhodou použity pro automatické řízení parametrů, například parametrů plazmatu, při použití kontrolního systému 11, který se skládá ze systému čidel 12 pro detekci vybraných parametrů a systému zpětné vazby 13 pro ovládání řídicího systému 4. Taková uzavřená smyčka ovládačů reaguje na změny parametrů plazmatu a přes řídicí systém změní polohu otočných permanentních magnetů tak, aby se parametry vrátily na předvolené hodnoty.

Podle OBR. 2 bude popsáno druhé ztělesnění zařízení pro plazmatické procesy s otočnými magnety podle tohoto vynálezu, ve schématickém pohledu. Pár prvního otočného systému permanentních magnetů 1 a druhého otočného systému permanentních magnetů 2 obsahujících jednotlivé permanentní magnety 3 je umístěn proti sobě. Jednotlivé permanentní magnety mají maximální magnetickou indukci vyšší než  $10^1$  Tesla (1000 Gauss). Otočné systémy permanentních magnetů jsou poháněny řídicím systémem 4, který například provádí rotaci otočných systémů permanentních magnetů proti sobě. Otočné systémy permanentních magnetů jsou použity v kombinaci se základním zařízením pro plazmatické procesy 5, které, ve druhém ztělesnění tohoto vynálezu, představuje magnetronové zařízení se stacionárním systémem magnetů 14. Pohyby otočných systémů permanentních magnetů mění magnetické pole stacionárního systému magnetů a dělá jak rozložení magnetického toku, tak i hodnotu

stacionárního systému magnetů a dělá jak rozložení magnetického toku, tak i hodnotu

magnetické indukce na povrchu magnetronového terče 16, časově závislémi. Časově proměnné magnetické silokřivky 6 způsobují časově závislé magnetronové plazma 17, jak v jeho tvaru, tak parametrech. Tato časová závislost vede k časově závislé erozi terče v erozní zóně 18. Erozní zóna se může zvětšit a navíc, magnetron se může periodicky stát otevřený a kompenzovaný, v závislosti na poloze otočných systémů permanentních magnetů ve stacionárním systému magnetů v magnetronu. Ovládání parametrů plazmatu a/nebo eroze terče je umožněno kontrolním systémem 11 skládajícím se ze systému čidel 12 a systému zpětné vazby 13 ve spojení s řídicím systémem.

Podle OBR. 3 bude popsáno třetí ztělesnění zařízení pro plazmatické procesy s otočnými magnety podle tohoto vynálezu, ve schématickém pohledu. Pár prvního otočného systému permanentních magnetů 1 a druhého otočného systému permanentních magnetů 2, umístěných proti sobě, je použit v kombinaci se základním zařízením pro plazmatické procesy 5, které je ve třetím ztělesnění tohoto vynálezu magnetron s otáčivým terčem 19. Otočné systémy permanentních magnetů jsou instalovány na držáku 20, spolu se stacionárním systémem magnetů 14. Otočné systémy permanentních magnetů ovlivňují magnetické pole stacionárního systému magnetů a způsobují časovou závislost jak v rozložení magnetického toku, tak v hodnotě magnetické indukce na otáčivém terči magnetronu. V případech, kdy se má použít jednoduchá rotace otočných systémů permanentních magnetů, je též možné vynechat řídicí systém a rotovat systémem permanentních magnetů pomocí samotného otáčivého terče magnetronu. Otočné systémy permanentních magnetů dovolují provoz magnetronu jak v otevřeném, tak v kompenzovaném režimu, simultánně se změnou jejich polohy vzhledem k terči. Toto je unikátní vlastnost, která není možná v konvenčních magnetronech.

Podle OBR. 4 bude popsáno čtvrté ztělesnění zařízení pro plazmatické procesy s otočnými magnety podle tohoto vynálezu. Několik párů prvního otočného systému permanentních magnetů 1 a druhého otočného systému permanentních magnetů 2, umístěných proti sobě, je použito v základním zařízením pro plazmatické procesy 5 které, ve čtvrtém ztělesnění tohoto vynálezu představuje aktivní plazma 21 v reaktoru 22. Páry otočných systémů permanentních magnetů mohou být umístěny vně a/nebo uvnitř reaktoru. Pohyby otočných systémů permanentních magnetů, například jejich jednoduchá rotace ukázána v OBR. 4, způsobují periodické změny v udržení plazmatu, což vede k vytvoření časově závislých oblastí hustého plazmatu 23. Časově závislé změny hustoty plazmatu, například pulzování, mohou být korelovány s jinými parametry, například s pulzním napouštěním plynných reaktantů, s pulzní

korelovány s jinými parametry, například s pulzním napouštěním plynných reaktantů, s pulzní

generací plazmatu, atd. Tento druh režimů při opracování plazmatem může být velmi důležitý v mnoha aplikacích, například když se vyžaduje časově proměnná interakce plazmatu s povrchy substrátů pro přerušované depozice, nízkoteplotní opracování, atp.

### Příklady

Podle OBR. 5 bude popsán první příklad, vztahující se k prvnímu ztělesnění zařízení pro plazmatické procesy dle OBR. 1. Schematický obrázek ukazuje pohled v řezu na otočné systémy permanentních magnetů 1 a 2 v různých úhlových polohách vzhledem k dutokatodovým deskám 8, v tomto případě pro postupné 45° změny od 0° do 315°, a odpovídající boční pohled na elektrodovou desku 8. Časově proměnná úhlová poloha otočných systémů permanentních magnetů způsobuje časově proměnné tvary magnetických siločiv 6 mezi otočnými systémy permanentních magnetů a v důsledku toho i časově závislý tvar dutokatodového výboje 10. Změny ve výboji duté katody mají za následek změny v parametrech horkých oblastí 15 na katodových deskách 8, ve kterých je zvýšený iontový bombard, termionická a sekundární emise elektronů, a také zvýšená eroze materiálu katodové desky. Pohyb otočných systémů permanentních magnetů, například jednoduchá rotace, výhodně vyrovnává rozložení teploty podél horkých oblastí a v důsledku toho i výslednou rovnoměrnost plazmatických procesů podél duté katody.

Podle OBR. 6 bude popsán druhý příklad, vztahující se k prvnímu ztělesnění zařízení pro plazmatické procesy dle OBR. 1. Schematický obrázek ukazuje pohled v řezu na otočné systémy permanentních magnetů 1 a 2 v různých úhlových polohách vzhledem k dutokatodovým deskám 8, v tomto případě pro postupné 45° změny od 0° do 315°, a vzhledem ke stacionárnímu systému magnetů 14. Časově proměnná úhlová poloha otočných systémů permanentních magnetů způsobuje časově proměnné tvary magnetických siločiv 6 mezi otočnými systémy permanentních magnetů, což ovlivňuje též stacionární magnetické siločivky 9. Důsledkem jsou časově závislé tvary jak dutokatodového výboje 10, tak i plazmatu 7 produkovaného tímto zařízením.

Podle OBR. 7 bude popsán třetí příklad, vztahující se ke druhému ztělesnění zařízení pro plazmatické procesy dle OBR. 2. Schematický obrázek ukazuje pohled v řezu na otočné systémy permanentních magnetů 1 a 2, instalované v kombinaci s magnetronovým zařízením, v různých úhlových polohách, v tomto případě pro postupné 45° změny od 0° do 315° vzhledem ke

úhlových polohách, v tomto případě pro postupné 45° změny od 0° do 315° vzhledem ke

stacionárnímu systému magnetů 14 a k magnetronovému terči 16. Časově proměnné úhlové polohy otočných systémů permanentních magnetů způsobují časově proměnné tvary magnetických silokřivek 6 které procházejí terčem magnetronu 16. Toto má za následek časově závislý tvar magnetronového výboje 17. V tomto příkladě jsou otočné systémy permanentních magnetů instalovány v magnetronu s kompenzovaným uspořádáním pole a způsobují otevření části stacionárního magnetického pole. Pohyb otočných systémů permanentních magnetů, například jednoduchá rotace, vytváří časově závislé přechody mezi kompenzovanými a otevřenými částmi pole. V důsledku toho se může erozní zóna magnetronu roztáhnout a otevřená i kompenzovaná oblast magnetronového výboje se periodicky pohybují přes terč.

Podle OBR. 8 bude popsán čtvrtý příklad, vztahující se ke druhému ztělesnění zařízení pro plazmatické procesy dle OBR. 2. Schematický obrázek ukazuje pohled v řezu na otočné systémy permanentních magnetů 1 a 2, instalované v kombinaci s magnetronovým diodovým zařízením, v různých úhlových polohách, v tomto případě pro postupné 45° změny od 0° do 315° vzhledem ke stacionárnímu systému magnetů 14 a k magnetronovému terči 16. Časově proměnné úhlové polohy otočných systémů permanentních magnetů způsobují časově proměnné tvary magnetických silokřivek 6 které procházejí terčem magnetronu 16. Toto má za následek časově závislý tvar magnetronového výboje 17. V tomto příkladě jsou otočné systémy permanentních magnetů instalovány v magnetronu s otevřeným uspořádáním pole a způsobují kompenzování části stacionárního magnetického pole. Pohyb otočných systémů permanentních magnetů, například jednoduchá rotace, vytváří časově závislé přechody mezi uzavřenými a otevřenými částmi pole. V důsledku toho se může erozní zóna magnetronu roztáhnout a otevřená i kompenzovaná oblast magnetronového výboje se periodicky pohybují přes terč.

Nakonec, podle OBR. 9 bude popsán pátý příklad, vztahující se ke všem ztělesněním zařízení pro plazmatické procesy podle tohoto vynálezu. Obrázek ukazuje příklad otočných systémů permanentních magnetů 1 a 2, které mají jednotlivé permanentní magnety 3 instalovány podél rotačních os 24 a 25 příslušných otočných systémů permanentních magnetů 1 a 2. Jednotlivé magnety mají určitý úhel vzhledem k oběma sousedním magnetům, například 22,5°. Toto speciální uspořádání jednotlivých magnetů vede k osově závislosti tvarů časově proměnných magnetických silokřivek 6. Tento druh uspořádání magnetů může být výhodně využit pro řízení výbojů v zařízeních pro plazmatické procesy. Způsobuje to komplexnější tvary časově závislých výbojů, které se mohou například pohybovat periodicky podél výstupu duté katody, nebo podél i napříč terče magnetronu, atp.

Zařízení pro plazmatické procesy s otočnými magnety podle tohoto vynálezu má mnoho možných použití v plazmové technologii. Otočné systémy permanentních magnetů umožňují nahradit "rigidní" koncepce výbojů pro plazmatické opracování časově a prostorově řízenými aktivními médii. Charakter těchto médií připomíná pulzní typ procesů, ale umožňuje lepší stabilitu i ovládání na základě časově řízených změn. Zlepší se také rovnoměrnost plazmatických procesů. Na rozdíl od "perfektní uspořádanosti", obvykle vyžadované od plazmatu pro výbojové opracování, může být využita přirozenější "neuspořádanost" a řízena speciálními uspořádáními otočných systémů permanentních magnetů. Taková uspořádání mohou být založena například na planetovém typu pohybu otočných systémů permanentních magnetů, na rozdílných magnetických indukcích jednotlivých permanentních magnetů v otočných systémech permanentních magnetů, nebo na simultánních pohybech všech magnetů v zařízení, atp. Otočné systémy permanentních magnetů mohou být využity v nových typech plazmatických zdrojů, kde se vyžaduje časové nebo prostorové řízení výboje.

## PATENTOVÉ NÁROKY

1. Zařízení pro plazmatické procesy, sestávající z prostředků pro generaci plazmatického výboje a prostředků pro udržení tohoto plazmatického výboje v magnetickém poli, **v y z n a ě n é t ě m, že:**

nejméně jeden pár prvního otočného systému permanentních magnetů (1) a druhého otočného systému permanentních magnetů (2) obsahuje jednotlivé permanentní magnety (3) a tyto systémy permanentních magnetů jsou umístěny proti sobě;

řečené jednotlivé permanentní magnety mají maximální magnetickou indukci vyšší než  $10^{-1}$  Tesla;

řídící systém (4) je určen k řízení pohybu řečených permanentních magnetů v řečeném otočném systému permanentních magnetů;

základní zařízení pro plazmatické procesy (5) je použito v kombinaci s řečeným otočným systémem permanentních magnetů pro vytvoření časově proměnných magnetických silokřivek (6) a pro ovlivňování plazmatu (7) vytvořeného řečeným základním zařízením pro plazmatické procesy;

kontrolní systém (11) skládající se ze systému čidel (12) a systému zpětné vazby (13) je spojený s řečeným řídicím systémem a je určený k řízení pohybu řečených permanentních magnetů v řečených otočných systémech permanentních magnetů, s ohledem na změny v řečeném plazmatu.

2. Zařízení pro plazmatické procesy, sestávající z prostředků pro generaci plazmatického výboje a prostředků pro udržení tohoto plazmatického výboje v magnetickém poli, **v z l á š t ě p r o p r o c e s y v o b l o u k o v ě m p l a z m a t i c k ě m v ý b o j i, v y z n a ě n é t ě m, že:**

nejméně jeden pár prvního otočného systému permanentních magnetů (1) a druhého otočného systému permanentních magnetů (2) obsahuje jednotlivé permanentní magnety (3) a tyto systémy permanentních magnetů jsou umístěny oproti sobě;

řečené jednotlivé permanentní magnety mají maximální magnetickou indukci vyšší než  $10^{-1}$  Tesla;

řídící systém (4) je určen k řízení pohybu řečených permanentních magnetů v řečeném otočném systému permanentních magnetů;

základní zařízení pro plazmatické procesy (5), sestávající ze zdroje lineárního obloukového výboje s nejméně jedním párem desek duté katody (8), je umístěno v magnetickém poli, ve kterém jsou stacionární magnetické silokřivky (9) buď nahrazeny nebo ovlivněny časově proměnnými magnetickými silokřivkami (6) vytvořenými pomocí řečených otočných systémů permanentních magnetů pro generaci časově proměnného plazmatu duté katody (10);

kontrolní systém (11) skládající se ze systému čidel (12) a systému zpětné vazby (13) je spojený s řečeným řídicím systémem a je určený k řízení pohybu řečených permanentních

spojený s řečeným řídicím systémem a je určený k řízení pohybu řečených permanentních

magnetů v řečených otočných systémech permanentních magnetů, s ohledem na změny v řečeném plazmatu duté katody.

3. Zařízení pro plazmatické procesy podle nároku 1, **v y z n a ě n é t í m**, že řečené základní zařízení pro plazmatické procesy (5) sestává z magnetronového zdroje se stacionárním systémem magnetů (14), ve kterém řečené otočné systémy permanentních magnetů jsou určeny k vytvoření řečených časově proměnných magnetických silokřivek, které procházejí terčem magnetronu (16) pro generaci časově závislého magnetronového plazmatu (17).

4. Zařízení pro plazmatické procesy podle nároků 1 nebo 3, **v y z n a ě n é t í m**, že řečené základní zařízení pro plazmatické procesy (5) sestává z magnetronového zdroje s otáčivým magnetronovým terčem (19), ve kterém řečené otočné systémy permanentních magnetů jsou instalovány na držáku (20) spolu s řečeným stacionárním systémem magnetů.

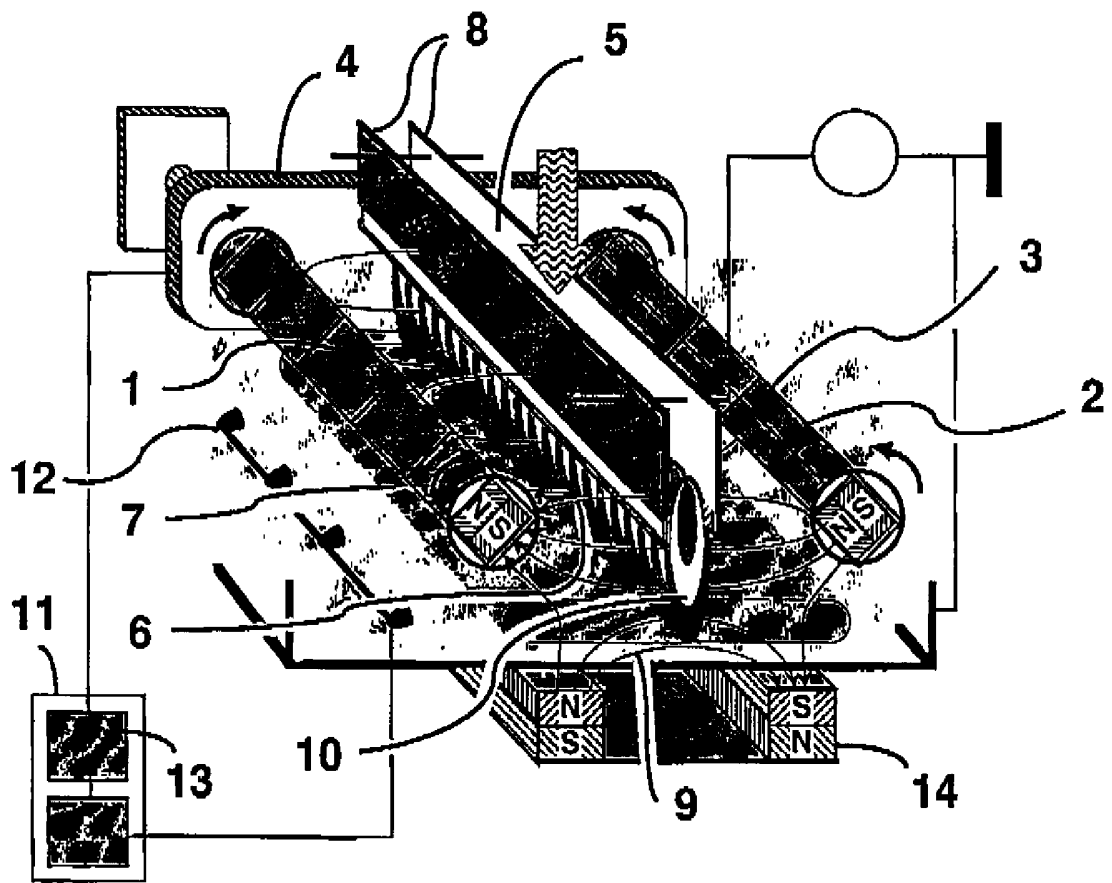
5. Zařízení pro plazmatické procesy podle kteréhokoli z předchozích nároků, **v y z n a ě n é t í m**, že řečené základní zařízení pro plazmatické procesy (5) sestává z aktivního plazmatu (21) v reaktoru (22), kde řečené otočné systémy permanentních magnetů jsou umístěny vně a/nebo uvnitř řečeného reaktoru k vytvoření řečených časově proměnných magnetických silokřivek, pro generování časově závislých oblastí hustého plazmatu (23).

6. Zařízení pro plazmatické procesy podle kteréhokoli z předchozích nároků, **v y z n a ě n é t í m**, že řečené otočné systémy permanentních magnetů jsou sestaveny z individuálních permanentních magnetů s rozdílnými magnetickými induklemi a/nebo rozdílnými směry magnetických silokřivek.

7. Zařízení pro plazmatické procesy podle kteréhokoli z předchozích nároků, **v y z n a ě n é t í m**, že řečený řídicí systém pro řízení pohybů řečených permanentních magnetů v řečených otočných systémech permanentních magnetů umožňuje řízení řečených otočných systémů permanentních magnetů v krokovém pohybu, nebo ve vibračním operačním módu kolem vybraných poloh.

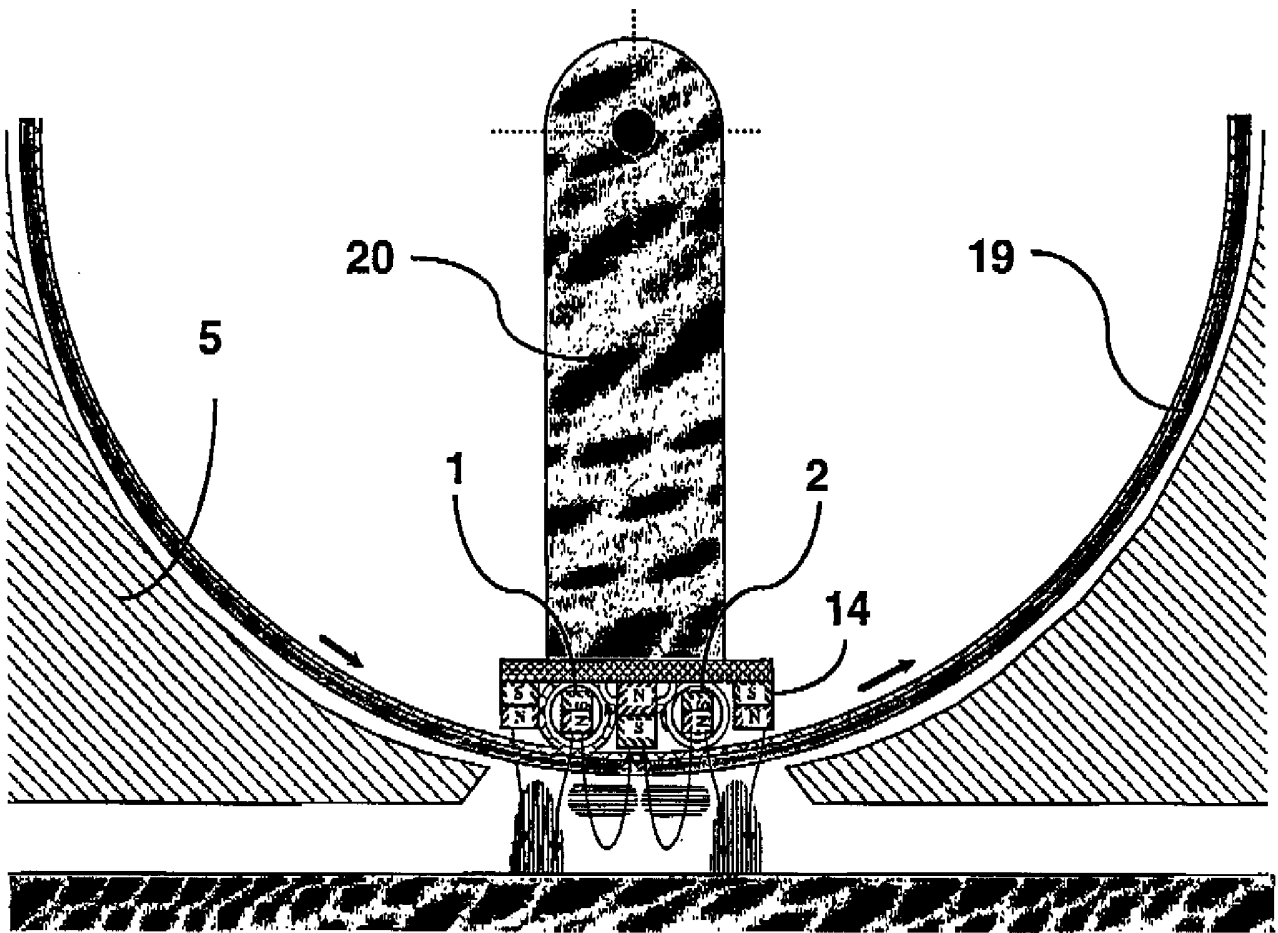
9 Výkresů

OBR. 1

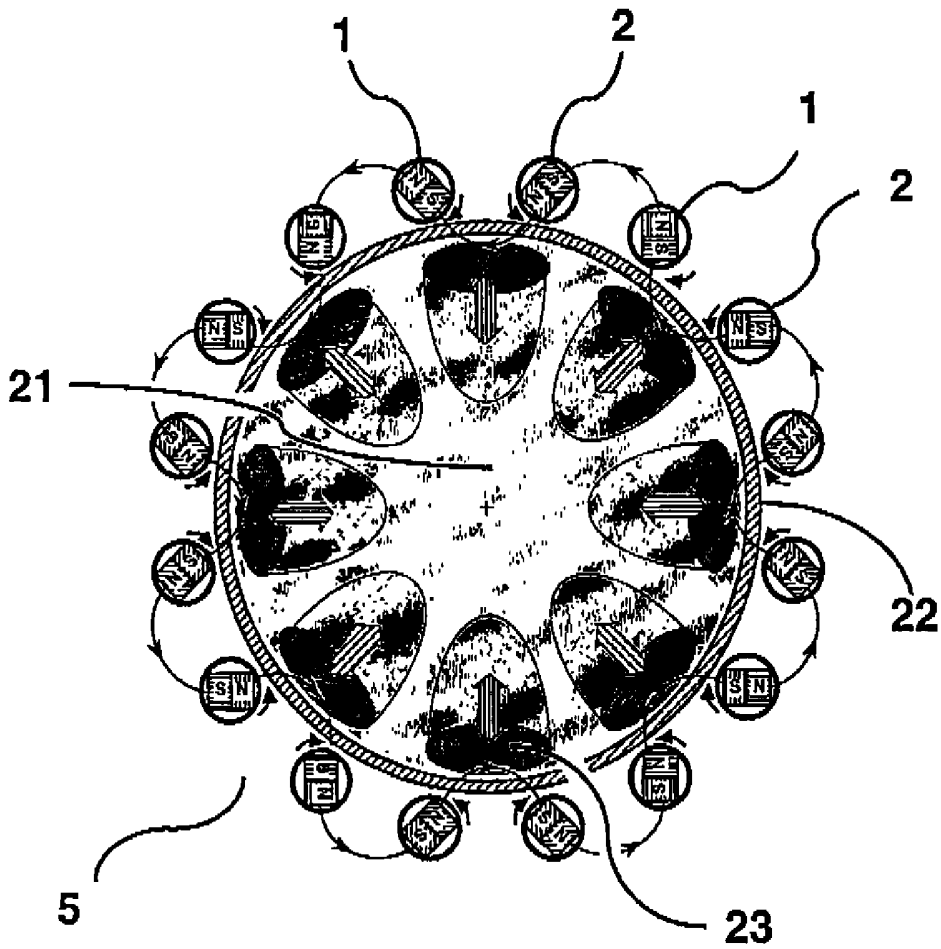




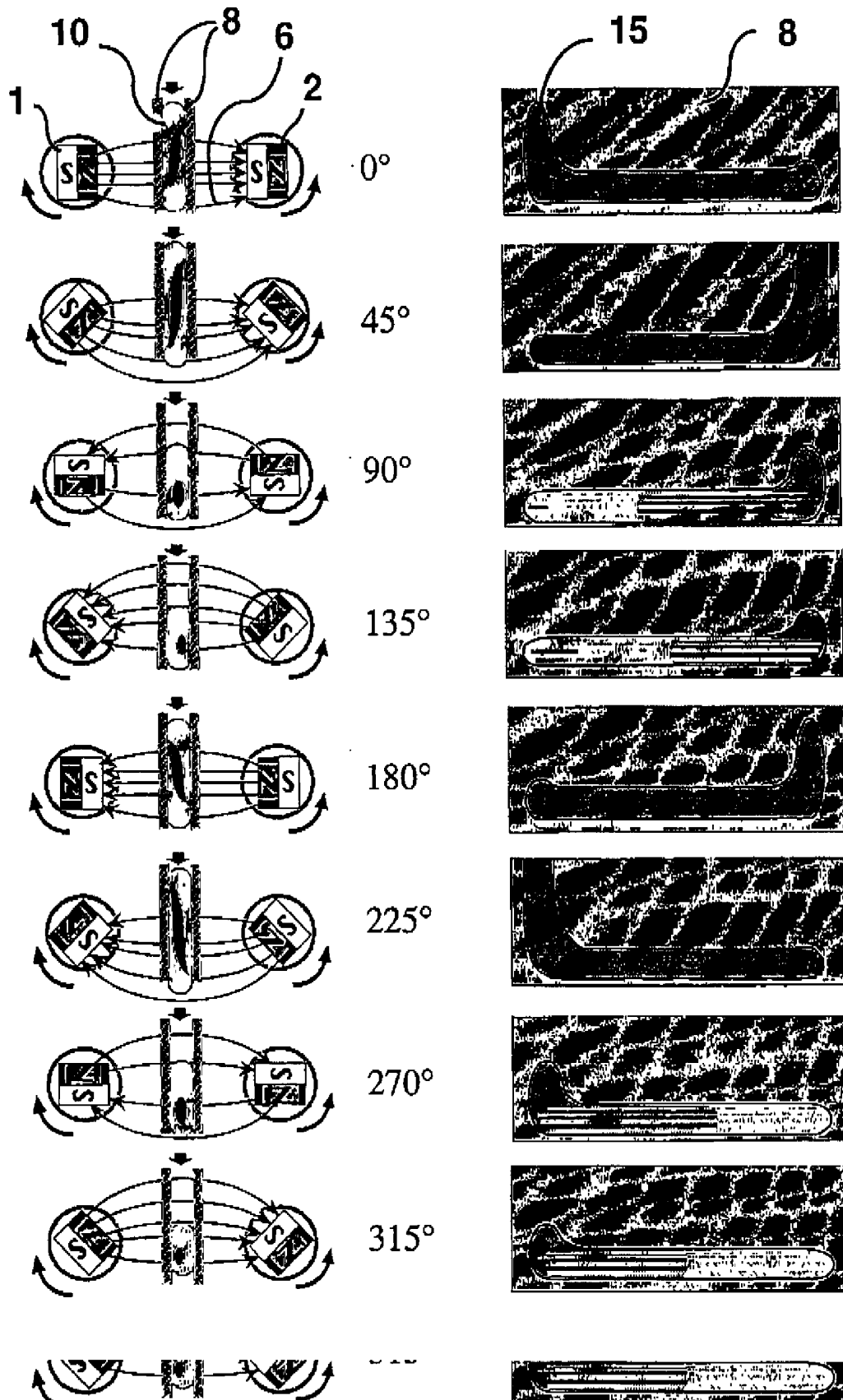
OBR. 3



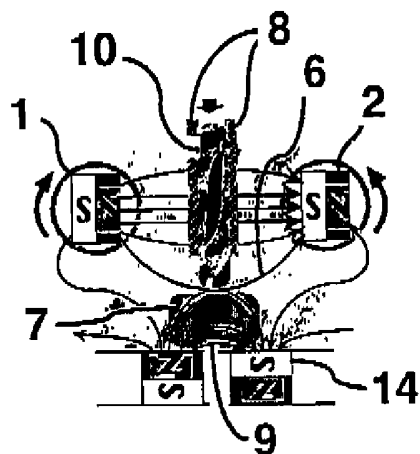
OBR. 4



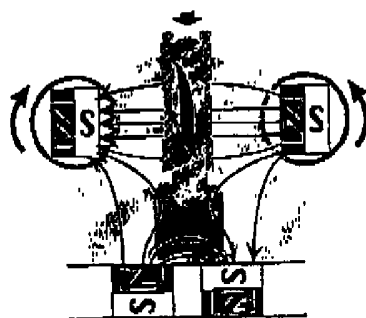
OBR. 5  
PŘÍKLAD 1



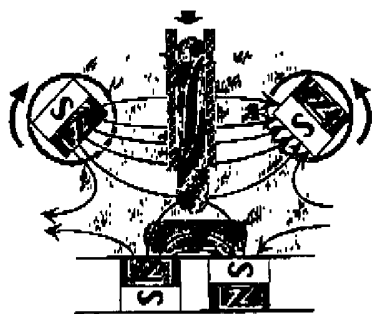
OBR. 6  
PŘÍKLAD 1



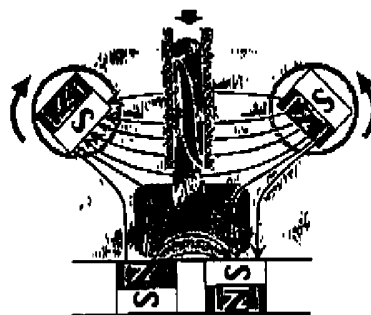
0°



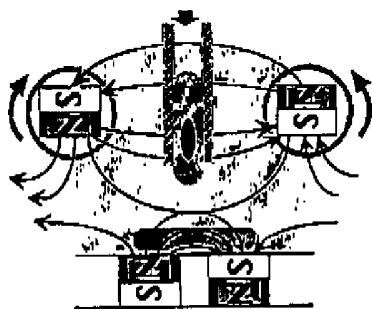
180°



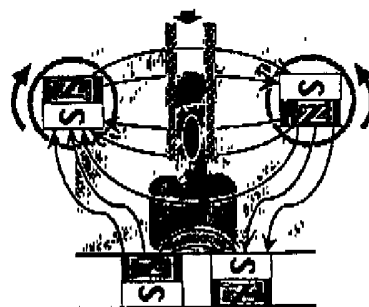
45°



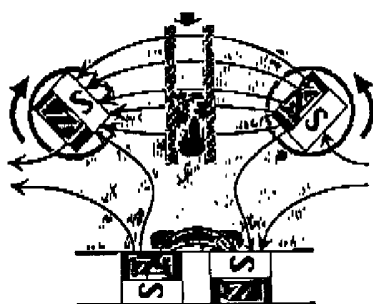
225°



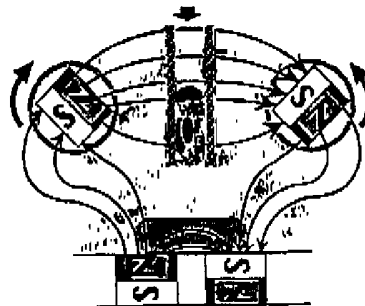
90°



270°



135°

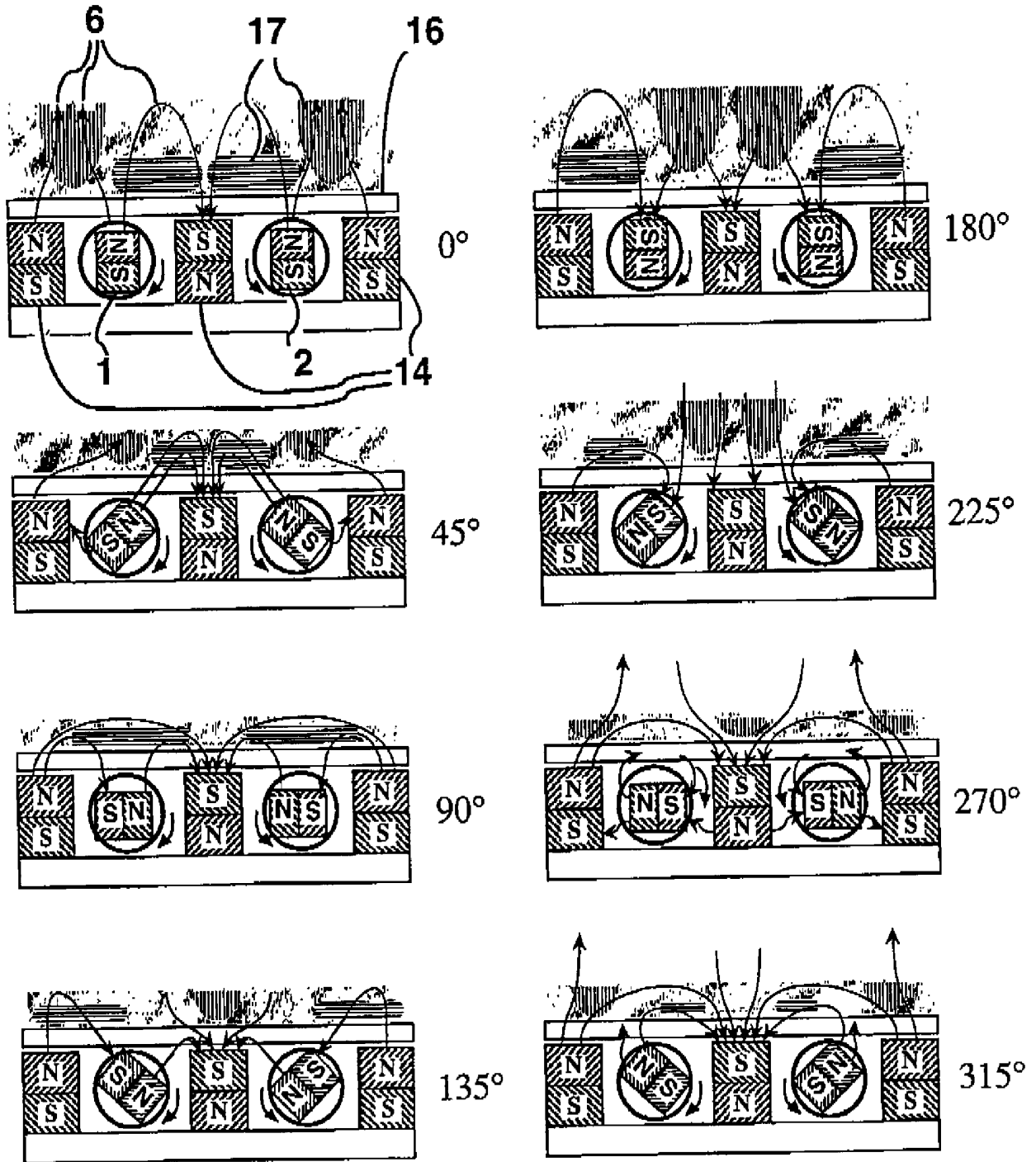


315°



OBR. 7

PŘÍKLAD 3



OBR. 8

PŘÍKLAD 4

