



ÚŘAD PRO VYNÁLEZY
A OBJEVY

POPIS VYNÁLEZU

K AUTORSKÉMU OSVĚDČENÍ

208419
(11) (B1)

(51) Int. Cl.³
C 23 C 13/12

(22) Přihlášeno 29 06 79

(21) (PV 4580-79)

(40) Zveřejněno 31 12 80

(45) Vydáno 01 02 84

(75)

Autor vynálezu

MUSIL JINDŘICH ing. DrSc., ŘEVNICE a
BÁRDOŠ LADISLAV ing. CSc., PRAHA

(54) Způsob vytváření kovových vrstev na povrchu pevného substrátu a zařízení pro provádění tohoto způsobu

Vynález se týká způsobu vytváření kovových vrstev na povrchu pevného substrátu s použitím bezelektrodového urychlení iontů nanášeného kovu a zařízení pro provádění tohoto způsobu.

Pro vytvoření tenké vrstvy na povrchu pevného substrátu je dosud známo a užíváno mnoha způsobů, při nichž je terčík z nanášeného kovu odpařován nebo odprašován a uvolněné kovové částice se ukládají na povrchu vhodně umístěného pevného substrátu. Různé způsoby se navzájem liší prováděním odpařování nebo odprašování, celkovým geometrickým uspořádáním zařízení, umístěním pevného substrátu, použitými elektrickými nebo magnetickými poli atd. Základní vlastnosti vytvořených kovových vrstev, to znamená rovnoměrnost jejich tloušťky, hustota, přilnavost k povrchu pevného substrátu apod., záleží na způsobu vytváření a na jakosti povrchu pevného substrátu. Je známo obecně, že dokonalejší přilnavost vrstvy k povrchu pevného substrátu lze dosáhnout nastřelováním kovových iontů z terčíku z nanášeného kovu a pevný substrát jejich urychlováním elektrickým polem. Takový způsob však vyžaduje použití pomocných elektrod, jejich přívodů a přivedení vhodných elektrických potenciálů. Toto vše značně komplikuje zařízení a vznikají vedlejší problémy s odstraněním obtíží při konstrukci takového zařízení. Účelem vynálezu je popsání nevýhody od-

stranit a konstruovat zařízení jednoduché, bezelektrodové, které je zbaveno vedlejších problémů a konstrukčních obtíží.

Podstata způsobu vytváření kovových vrstev na povrchu pevného substrátu odpařováním anebo odprašováním terčíku z nanášeného kovu a difuzí kovových částic z terčíku do vysokofrekvenčního plazmatu, vytvořeného v oblasti elektronové cyklotronové rezonance ze směsi elektronů, iontů pracovního plynu a kovových iontů, spočívá v tom, že kovové ionty se v plazmatu urychlují z oblasti elektronové cyklotronové rezonance osově symetrickým magnetickým polem ve směru jeho klesající indukce na pevný substrát, umístěný v ose magnetického pole v místě, v němž je indukce menší nežli v místě elektronové cyklotronové rezonance.

Podstata zařízení pro vytváření kovových vrstev na povrchu pevného substrátu odpařováním anebo odprašováním terčíku z nanášeného kovu a difuzí kovových částic z terčíku do vysokofrekvenčního plazmatu, vytvořeného v oblasti elektronové cyklotronové rezonance ze směsi elektronů, iontů pracovního plynu a kovových iontů, spočívá v tom, že je vytvořeno z výbojové komory, opatřené vstupem pro přívod pracovního plynu ze zásobníku, hrdlem pro připojení vývěvy a dále vlnovodem, k němuž je přes proměnný útlum mikrovlnné energie připojen mikrovlnný generátor. Podle

vynálezu je výbojová komora v místě proti hrdlu pro přívod pracovního plynu opatřena alespoň jedním hrdlem pro přívod kovových částic, odpařených nebo odprašených ze vždy alespoň jednoho terčiku z nanášeného kovu, přičemž pevný substrát je upevněn na držáku vně oblasti elektronové cyklotronové rezonance v ose výbojové komory na tyči prostřednictvím mechanismu pro změnu orientace pevného substrátu a tyč je jednak upevněna ve vakuově těsném průchodu s možností osového posuvu, jednak je opatřena zarážkou pro zajištění vzdálenosti pevného substrátu od oblasti elektronové cyklotronové rezonance, zatímco kolem výbojové komory je uspořádán systém magnetických cívek anebo trvalých magnetů, souosý s osou výbojové komory.

Způsob vytváření kovových vrstev a zařízení pro provádění tohoto způsobu v bezelektrodovém systému podle vynálezu dosahují stejného účinku, což je výraznou výhodou a předností, která má v řadě aplikací prvořadou důležitost. Další důležitou výhodou je jednoduchá regulace energie urychlování iontů kovu směrem na pevný substrát a to změnou velikosti mikrovlnného výkonu pomocí proměnného útlumu. Tato možnost změny energie kovových iontů umožňuje silně ovlivňovat vlastnosti vytvářených vrstev. Bezelektrodové urychlení kovových iontů, na rozdíl od běžně používaných elektrodových systémů, odstraňuje možnost znečištění rostoucí kovové vrstvy materiálem elektrod. Kromě toho vytváření kovové vrstvy nezávisí na způsobu tvorby částic kovu, t.j. buď odpařením nebo odprašením, protože tyto částice jsou snadno ve výboji ionizovány. Další výhodou je malý potřebný vysokofrekvenční výkon, řádu několika desítek watů, pro vytvoření plazmatu mechanismem elektronové cyklotronové absorpce vysokofrekvenční energie. Vysokofrekvenční výboj může být vytvořen jak v samotném – nejlépe inertním – pracovním plynu, tak také ve směsi pracovního plynu a kovových částic, ale také v samotných parách kovu, uvolněných z terčiku nanášeného kovu. Rychlost vytváření kovové vrstvy je možno ovlivňovat rychlostí odpařování nebo odprašování terčiku z nanášeného kovu, dále velikostí vysokofrekvenčního výkonu, gradientem magnetického pole, tlakem pracovního plynu, teplotou a potenciálem pevného substrátu.

Aby byla zajištěna homogenita vytvářené vrstvy, je držák pevného substrátu spojen se zařízením, které umožňuje mechanický, periodický pohyb pevného substrátu uvnitř výbojové komory. Toto opatření je velmi výhodné a důležité z hlediska vyšších technických účinků zařízení podle vynálezu.

Na přiložených výkresech je znázorněno: na obr. 1 – základní uspořádání výbojové komory a zdroje kovových částic, na obr. 2 – průběh indukce osově symetrického magnetického pole podél osy výbojové komory, na obr. 3 – uspořádání úplného zařízení pro vytváření kovových vrstev na povrchu pevného substrátu, na obr. 4 – průběh indukce

osově symetrického magnetického pole podél osy výbojové komory a úplného zařízení podle obr. 3.

Na obr. 1 je znázorněn přívod 1 mikrovlnné energie do výbojové komory 2 ve směru klesající indukce magnetického pole, jejíž průběh 3 je znázorněn na obr. 2. V místě 4 výbojové komory 2 je oblast elektronové cyklotronové rezonance, v níž se vytváří plazma 6. V tomto místě je upraven vstup do výbojové komory 2 ze zdroje 5 kovových částic odpařeného nebo odprašeného kovu, který má být nanesen na pevný substrát. Ve směru 7 jsou kovové ionty urychlovány magnetickým polem směrem k pevnému substrátu.

Na obr. 2 je znázorněn průběh 3 indukce osově symetrického magnetického pole podél výbojové komory 2 dle obr. 1. V diagramu na obr. 2 jsou ve směru svislé osy vynášeny hodnoty indukce B magnetického osově symetrického pole v závislosti na poloze podél osy výbojové komory 2 dle obr. 1. Průběh 3 je nelineární, klesající směrem od vstupu do výbojové komory 2 k pevnému substrátu ve směru 7 urychlující síly. Hodnota indukce B_{ce} je hodnota, při níž probíhá elektronová cyklotronová rezonance v místě 4 výbojové komory 2, v němž je oblast plazmatu 6.

Na obr. 3 je generátor 19 mikrovlnného výkonu připojen přes proměnný útlum 17 vlnovodem 9 k výbojové komoře 2, k níž je hrdlem 27 připojena vývěva 8. V zásobníku 11, který je připojen hrdlem 26 k výbojové komoře 2, je pracovní plyn 10. Proti hrdlu 26 je upraveno hrdlo 12, v němž je umístěn terčik 13 z nanášeného kovu, z něhož jsou odpařovány nebo odprašovány částice 14 nanášeného kovu. Odpařovací nebo odprašovací zařízení 28 terčiku 13 je připojeno k hrdlu 12. V místě 4, v ose hrdla 26 zásobníku 11 pracovního plynu 10 je oblast plazmatu 6, vytvořeného elektronovou cyklotronovou rezonancí. Elektromagnetické cívky 18a, 18b, 18c jsou součástí systému pro vytvoření osově symetrického magnetického pole, jehož indukce klesá podél osy 2 výbojové komory 2 ve směru od vlnovodu 9 k pevnému substrátu 15, na němž se vytváří vrstva 16 kovu, naneseného z terčiku 13. Pevný substrát 15 je vně oblasti plazmatu 6, přesně řečeno pevný substrát se dotýká okraje plazmatu 6, je upevněn na držáku 20 a prostřednictvím mechanismu 21 pro změnu jeho orientace na tyči 23, která je jednak upevněna ve vakuově těsném průchodu 24 s možností osového posuvu, jednak je opatřena zarážkou 25 pro zajištění polohy a vzdálenosti pevného substrátu 15 od oblasti plazmatu 6. Na obr. 3 je také označen směr 1 přiváděné mikrovlnné energie a směr 7 působení síly a urychlení iontů nanášeného kovu.

Na obr. 4 je opět znázorněn průběh 3 indukce osově symetrického magnetického pole podél osy 22 výbojové komory 2 podle obr. 3. V diagramu na obr. 4 jsou ve směru svislé osy vynášeny hodnoty indukce B magnetického osově symetrického pole v závislosti na poloze podél osy výbojové komory 2. Průběh 3 je nelineární, klesající směrem od

vstupu do výbojové komory 2 k pevnému substrátu 15. Hodnota indukce B_{ce} je hodnota, při níž probíhá elektronová cyklotronová rezonance v místě 4 výbojové komory 2, v němž je oblast plazmatu 6.

Způsob a činnost zařízení podle vynálezu lze pomocí obr. 1 až obr. 4 vysvětlit následovně: ionty nanášeného kovu vznikají ionizací odpařených nebo odprášených částic z kovového terčíku 13 podle obr. 3 v důsledku srážek s elektrony vysokofrekvenčního plazmatu, vytvořeného například v argonu. Vysokofrekvenční plazma se vytváří elektronovou cyklotronovou absorpcí v oblasti elektronové cyklotronové rezonance osově symetrického magnetického pole, které je sousedí s osou 22 výbojové komory 2 podle obr. 3. Kovové částice odpařené nebo odprášené z terčíku z nanášeného kovu se přivádějí právě do oblasti elektronové cyklotronové rezonance, zde se ionizují a vzniklé ionty nanášeného kovu se urychlují ve směru klesající indukce, osově symetrického magnetického pole. Pevný substrát 15, na němž se vytvářejí kovové vrstvy, se proto umísťuje do oblasti, v níž je indukce B_z menší nežli indukce B_{ce} , odpovídající elektronové cyklotronové rezonanci.

Princip urychlení plazmatu 6 a tedy také urychlení iontů nanášeného kovu lze pomocí obr. 1 a obr. 2 vysvětlit takto: mikrovlnná energie vstupující směrem 1 do výbojové komory 2 ve směru klesající indukce B je silně absorbována v místě 4 v oblasti elektronové cyklotronové rezonance. Průběh 3 indukce B osově symetrického magnetického pole podél výbojové komory 2, jak patrně z obr. 2, má v místě 4 hodnotu rovnou hodnotě B_{ce} . Mikrovlnná energie ionizuje pracovní plyn, přesněji řečeno směs pracovního plynu s částicemi, které vstupují do prostoru v místě 4 ze zdroje 5 částic odpařeného nebo odprášeného kovu z terčíku 13 podle obr.

3 a tím vzniká plazma 6. Takto vytvořená plazma, jehož elektrony mají příčnou energii $w_{\perp}$ – vzhledem ke směru vnějšího osově symetrického magnetického pole – značně vyšší nežli je podélná energie $w_{\parallel}$, je urychlováno do oblasti klesající indukce magnetického osově symetrického pole silou $F_{\parallel}$ ve směru 7, která má hodnotu

$$F_{\parallel} = -\mu \cdot \text{grad } B.$$

V tomto výrazu značí μ magnetický moment jednotky objemu plazmatu a je roven

$$\mu = m v_{\perp}^2 / 2B^2,$$

přičemž m je hmota elektronu a $v_{\perp}$ jeho příčná rychlost, $\text{grad } B$ je gradient indukce magnetického pole v daném místě. Protože ionty nanášeného kovu jsou z oblasti elektronové cyklotronové rezonance vytahovány silou prostorového náboje elektronů, je osová rychlost elektronů i iontů nanášeného kovu přibližně stejná. Jak již uvedeno, velikost síly $F_{\parallel}$ a tedy také osová rychlost iontů nanášeného kovu je přímo úměrná magnetickému momentu μ a gradientu magnetického pole. Velikost magnetického momentu μ při zadaném gradientu B lze měnit změnou příčné energie $w_{\perp}$ elektronů. Střední příčná energie $w_{\perp}$ elektronů

pohybujících se ve zkříženém vysokofrekvenčním poli a stejnosměrném magnetickém poli při elektronové cyklotronové rezonanci je totiž úměrná druhé mocnině elektrického pole E_{inc} dopadajícího vysokofrekvenčního vlnění. Za předpokladu, že srážková frekvence v částic plazmatu je malá ve srovnání s kruhovou frekvencí ω vysokofrekvenčního pole, může být příčná energie $w_{\perp}$ vyjádřena následujícím

$$w_{\perp} \approx \frac{e^2 \cdot E_{inc}}{4 m \cdot v^2},$$

v němž e je náboj a m je hmotnost elektronu.

Ze vztahů dříve a posléze uvedených vyplývá, že osová rychlost iontů nanášeného kovu může být jednoduše regulována změnou amplitudy vysokofrekvenčního výkonu dodávaného do plazmatu 6. Velikostí energie iontů nanášeného kovu dopadajících na pevný substrát 15 lze ovlivňovat vlastnosti vytvářené vrstvy nanášeného kovu.

Činnost zařízení podle obr. 3: z generátoru 19 je veden vysokofrekvenční výkon přes proměnný útlum 17 vlnovodem 9 do vstupu výbojové komory 2. Pracovní plyn 10, například argon, je ze zásobníku 11 napouštěn v místě 4 hrdlem 26 do výbojové komory 2, na jejímž konci je hrdlem 27 připojena vývěva 8. Naproti zásobníku 11 pracovního plynu je hrdlo 12, v němž je umístěn terčík 13 z nanášeného kovu. Částice 14, odpařené nebo odprášené z terčíku 13 z nanášeného kovu pomocí odpařovacího nebo odprašovacího zařízení 28, difundují do výbojové komory 2, v níž se v plazmatu 6 pracovního plynu ionizují. Plazma 6, které je vytvořeno z elektronů, iontů pracovního plynu a iontů nanášeného kovu, je z oblasti elektronové cyklotronové rezonance vytahováno a urychlováno ve směru osy 22 výbojové komory 2 silou $F_{\parallel}$ ve směru klesající indukce B osově symetrického magnetického pole, na pevný substrát 15, jehož plocha je orientována kolmo k ose 22 výbojové komory 2 a tedy zároveň kolmo k ose symetrie magnetického pole. Při dopadu iontů kovu z terčíku 13 na pevný substrát 15 se na jeho povrchu vytváří vrstva 16 z kovu, z něhož je zhotoven terčík 13. Rychlost kovových iontů dopadajících na substrát 15 lze tedy regulovat velikostí mikrovlnného výkonu pomocí proměnného útlumu 17. Osově symetrické magnetické pole lze vytvořit buď soustavou elektromagnetických cívek 18a, 18b, 18c, protékanych stejnosměrným proudem, nebo soustavou trvalých magnetů.

Aby se zajistila homogenita vytvářené vrstvy 16 na pevném substrátu 15, je držák 20 pevného substrátu spojen se zařízením 21 pro změnu orientace pevného substrátu, t.j. pro jeho mechanický periodický pohyb uvnitř výbojové komory 2.

PŘEDMĚT VYNÁLEZU

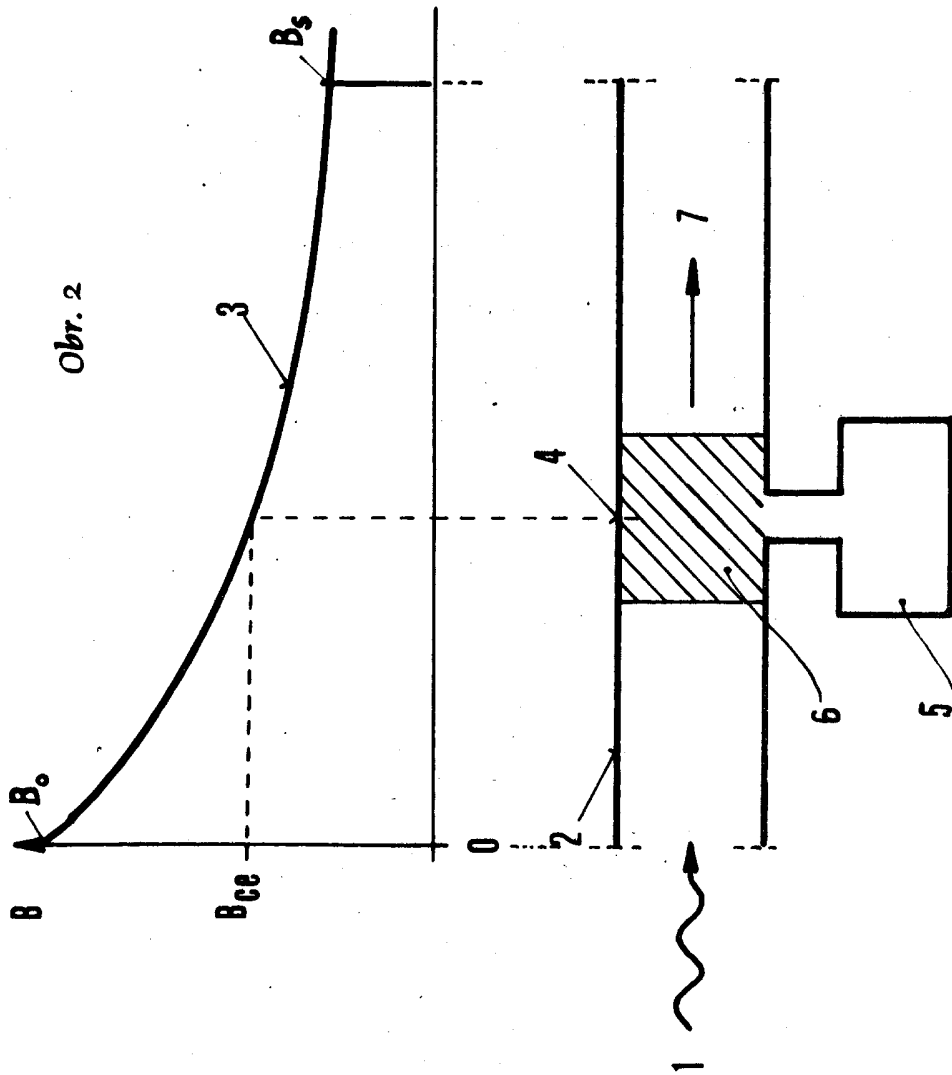
1. Způsob vytváření kovových vrstev na povrchu pevného substrátu odpařováním anebo odpra-

šováním terčíku z nanášeného kovu a difuzí kovových částic z terčíku do vysokofrekvenčního plazmatu, vytvořeného v oblasti elektronové cyklotronové rezonance ze směsi elektronů, iontů pracovního plynu a kovových iontů, vyznačený tím, že kovové ionty se v plazmatu urychlují z oblasti elektronové cyklotronové rezonance osově symetrickým magnetickým polem ve směru jeho klesající indukce na pevný substrát, umístěný v ose magnetického pole v místě, v němž je indukce menší nežli v místě elektronové cyklotronové rezonance.

2. Zařízení pro provádění způsobu podle bodu 1, vytvořené z výbojové komory, opatřené vstupem pro přívod pracovního plynu ze zásobníku, hrdlem pro připojení vývěvy a dále vlnovodem, k němuž je přes proměnný útlum mikrovlnné energie připojen mikrovlnný generátor, vyznačené tím, že výbojová komora (2) je v místě proti hrdlu

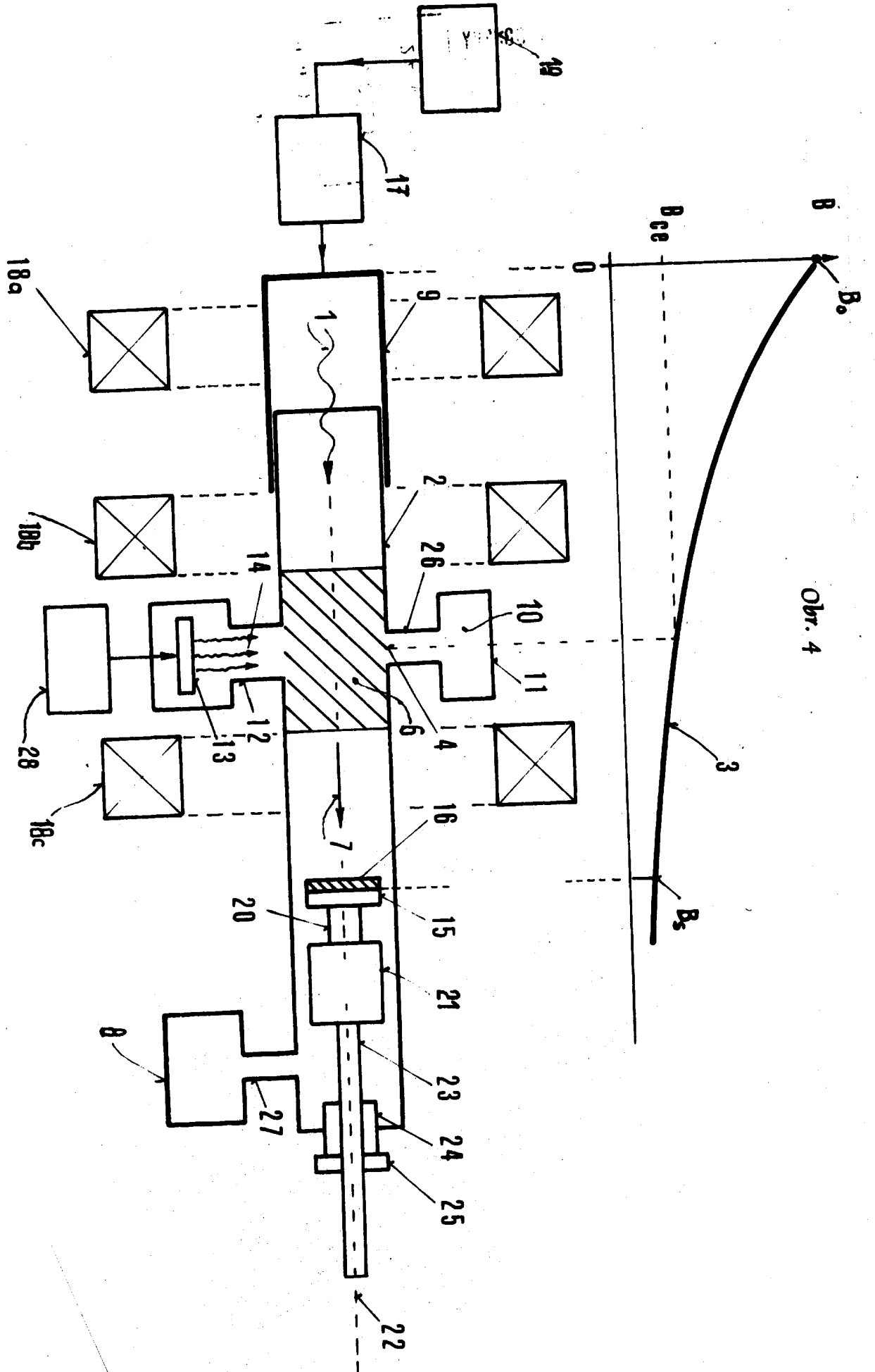
(26) pro přívod pracovního plynu opatřena alespoň jedním hrdlem (12) pro přívod kovových částic (14), odpařených nebo odprášených ze vždy alespoň jednoho terčíku (13) z nanášeného kovu, a pevný substrát (15) je upevněn na držáku (20) vně oblasti (4) elektronové cyklotronové rezonance v ose (22) výbojové komory (2) na tyči (23)

prostřednictvím mechanismu (21) pro změnu orientace pevného substrátu (15), přičemž tyč (23) je jednak upevněna ve vakuově těsném průchodu (24) s možností osového posuvu, jednak je opatřena zarážkou (25) pro zajištění vzdálenosti pevného substrátu (15) od oblasti (4) elektronové cyklotronové rezonance, zatímco kolem výbojové komory (2) je uspořádán systém magnetických cívek 18a, 18b, 18c anebo trvalých magnetů, sousý s osou (22) výbojové komory (2).



Obr. 1

Obr. 2



Obv. 3

Obv. 4