

PŘIHLÁŠKA VYNÁLEZU

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

(21) Číslo dokumentu:

2021-570

(13) Druh dokumentu: **A3**

(51) Int. Cl.:

(19)
ČESKÁ
REPUBLIKA



ÚŘAD
PRŮMYSLOVÉHO
VLASTNICTVÍ

(22) Přihlášeno: **15.12.2021**

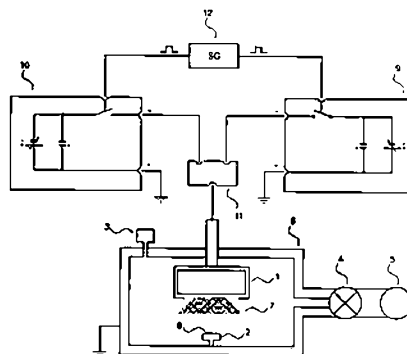
(40) Datum zveřejnění přihlášky vynálezu: **10.05.2023**
(Věstník č. 19/2023)

H01J 37/34 (2006.01)
H05B 11/00 (2006.01)
H05B 7/11 (2006.01)
C23C 14/32 (2006.01)
C23C 14/35 (2006.01)
H01J 25/50 (2006.01)

(71) Přihlašovatel:
Fyzikální ústav AV ČR, v. v. i., Praha 8, Libeň, CZ
HVM PLASMA, spol. s r.o., Praha 5, Jinonice, CZ

(72) Původce:
Ing. Vyskočil Jiří, CSc., Praha 5, Smíchov, CZ
Ing. Pavel Mareš, Ph.D., Zruč-Senec, Zruč, CZ
Mgr. Zdeněk Hubička, Ph.D., Praha 8, Libeň, CZ
Mgr. Martin Čada, Ph.D., Praha 8, Libeň, CZ
Ing. Drahošlav Tvarog, Praha 8, Libeň, CZ

(74) Zástupce:
Mgr. Karel Bauer, patentový zástupce, Urešova
1266/2, 148 00 Praha 4, Kunratice



(54) Název přihlášky vynálezu:
Způsob vytváření pulzního magnetronového výboje společně s obloukovým odpařováním

(57) Anotace:
Předkládaný vynález se týká způsob a zařízení pro vytváření pulzního magnetronového výboje společně s obloukovým odpařováním ve vakuové komoře (6) a způsobu a zařízení pro povlakování využívající výše uvedeného pulzního magnetronového výboje s obloukovým odpařováním. Způsob obsahuje kroky vytvoření pulzně buzeného magnetronového výboje první pulzní napěťovou jednotkou (9); zapálení katodového vakuového oblouku (7) druhou pulzní jednotkou (10) vytvářející inicializační pulz; přičemž první a druhá pulzní jednotka (10) jsou paralelně spojené, přičemž podstata vynálezu spočívá v tom, že zapálení katodového vakuového oblouku (7) probíhá během pulzního magnetronového výboje první pulzní napěťové jednotce (10); a tím, že se slučují napěťové pulzy generované pomocí pulzních napěťových jednotek (9) a (10) v modulu přenášející pulzní výboj na magnetronovou katodu (1). Zařízení je dále uzpůsobeno ke konání výše uvedeného způsobu.

Způsob vytváření pulzního magnetronového výboje společně s obloukovým odpařováním

Oblast techniky

5

10

Vynález spadá do oblasti vytváření pulzního výboje vhodného zejména k přípravě povlaků ve formě tenkých vrstev ve vakuovém prostředí. V jistém provedení se jedná zejména o přípravu kovových, oxidových, nitridových, uhlíkových nebo dalších sloučenin, které jsou nanášeny pomocí fyzikální depozice z par, konkrétněji magnetronového naprašování a obloukového výboje na vybraný substrát. Vynález se ještě konkrétněji týká způsobu vytváření pulzního buzení magnetronového a obloukového vakuového výboje na společné katodě pomocí vhodně zvoleného řízeného napětového zdroje.

15

Dosavadní stav techniky

20

Magnetronové naprašování je v průmyslu široce využívaná technika určená pro nanášení tenkých vrstev na různé podložky. Metoda je řazena mezi tzv. Physical Vapor Deposition (PVD) technologie spočívající na principu kondenzace odpařených nebo odprášených atomů a molekul z vhodného terče na různých površích. K zaručení požadované čistoty takto připravené tenké vrstvy je potřeba, aby PVD metoda pracovala ve vakuu. Detailní popis metody magnetronového naprašování a její aplikací lze nalézt, např. ve stati *D. Depla, S. Mahieu, J. E. Greene, Sputter Deposition Processes, Handbook of Deposition Technologies for Films and Coatings, Ed. P. M. Martin, Elsevier Inc., Burlington 2010.*

25

30

Magnetronové naprašování využívá nízkotlakého plazmatu generovaného typicky nad planární katodou, kde zkřížené magnetické a elektrické pole vytvářejí ohraničené intenzivní plazma s typickým katodovým napětím zhruba -300 V. Ve výboji vytvářené kladné ionty jsou urychlovány elektrickým polem směrem ke katodě a zde odprašují materiál terče, který následně difunduje k podložce. Magnetronová katoda může být buzena stejnosměrným (DC) nebo radiofrekvenčním (RF) napětím. V posledních 30 letech se s výhodou také využívá pulzního buzení magnetronové katody, kdy elektrická energie do plazmatu je dodávána cyklicky v pulzech. Tento typ buzení magnetronového výboje přináší výhodu v potlačení nežádoucího náhodného zapalování mikrooblouků na terči během tzv. reaktivního naprašování, kdy se deponuje dielektrická tenká vrstva. Tato skutečnost následně vede k výraznému snížení defektů v deponované tenké vrstvě. Princip činnosti pulzních výbojů je popsán např. ve stati *S. Schiller, K. Goedicke, J. Reschke, V. Kirchhoff, S. Schneider, F. Milde, Pulsed magnetron sputter technology, Surface and Coatings Technology 61, (1993) 331 až 337.*

35

40

45

50

Dalším rozšířením pulzního DC výboje bylo zavedení vysokovýkonového impulzního magnetronového výboje na konci minulého století. V praxi se pro tento depoziční systém vžila zkratka HiPIMS (High Power Impulse Magnetron Sputtering). Střední výkon dodávaný do plazmatu stále zůstává pod výkonovým destrukčním limitem daného magnetronu, ale výkonová hustota dodávaná do pulzu plazmatu se pohybuje typicky v rozmezí 0,5 až 10 kW/cm². Délka pulzu je obvykle v rozmezí 20 až 500 μs s opakovací frekvencí typicky 100 Hz. Vidíme tedy, že výkon dodávaný do pulzu plazmatu je zhruba o dva řády vyšší než výkon dodávaný do standardního DC magnetronu. Vysokovýkonový impulzní magnetronový výboj se vyznačuje hustotou plazmatu v řádu 10¹⁸ až 10¹⁹ m⁻³ v blízkosti katody, což ve výsledku vede k výraznému nárůstu ionizace rozprášených částic terče, které pak mohou být urychleny externím elektrickým polem k substrátu. Rozsáhlý popis HiPIMS systému včetně jeho charakterizace, teoretických východisek a možných průmyslových aplikací může být nalezen v knize *High Power Impulse Magnetron Sputtering, Eds. D. Lundin, T. Minea, J. T. Gudmundsson, Elsevier Inc., Amsterdam 2020.*

55

Mnoho provedených experimentů s depozicí tenkých vrstev pomocí HiPIMS v posledních dvaceti letech ukázalo, že HiPIMS výboj poskytuje větší flexibilitu při depozici tenkých vrstev

požadovaných parametrů právě díky významně vyšší ionizaci rozprášených částic a také vyšší energii částic dopadajících na substrát, jak je uvedeno ve stati *D. Lundin, K. Sarakinos, An introduction to thin film processing using high-power impulse magnetron sputtering, Journal of Material Research* 27, (2012) 780 až 792. Řízení energetického toku na substrát během depozice tenké vrstvy umožňuje ovlivnit mikrostrukturu tenké vrstvy díky zvýšení mobility atomů na povrchu tenké vrstvy, jak je uvedeno ve stati *I. Petrov, P. B. Barna, L. Hultman, J. E. Greene, Microstructural evolution during film growth, Journal of Vacuum Science and Technology A* 21, (2003) S117 až S128. Tento mechanismus pak vede ke zvýšení hustoty tenké vrstvy, změny krystalografické orientace zrn, snížení hrubosti povrchu tenké vrstvy, nebo také k implantaci částic do substrátu. Během reaktivního naprašování byla také pozorována mnohem nižší hystereze procesních parametrů umožňující přesněji nastavit stechiometrii deponované tenké vrstvy, jak je popsáno ve stati *E. Wallin, U. Helmersson, Hysteresis-free reactive high power impulse magnetron sputtering, Thin Solid Films* 516, (2008) 6398 až 6401. Na druhou stranu mezi klíčové nevýhody HiPIMS naprašování patří významný pokles depoziční rychlosti ve srovnání s DC magnetronovým naprašováním.

Vedle magnetronového naprašování je v průmyslových aplikacích hojně používáno vakuové obloukové napařování. Zde dochází k inicializaci obloukového výboje na katodě, který se vyznačuje katodovým napětím v řádu desítek voltů a výbojovým proudem ve stovkách ampér. Obloukové napařování je typické velmi vysokou depoziční rychlostí a vysokou energií deponovaných částic dosahujících i více jak 50 eV. Připravené tenké vrstvy pak mají vysokou adhezi k substrátu a také velmi dobrou krystalografickou strukturu. Bohužel nevýhodou obloukového napařování je přítomnost makro-částic velikosti až 10 μm vyskytujících se náhodně v připravené tenké vrstvě, které vznikají oddělením části materiálu terče díky vysoké energii koncentrované do malého bodu, kde se obloukový výboj zapaluje. Proto vrstvy připravené obloukovým napařováním vykazují větší hrubost, mikro-dírky, změnu textury, rozvoj nežádoucího pnutí ve vrstvě atp. Podrobnosti o obloukovém napařování lze nalézt například ve stati *A. Anders, Unfiltered and Filtered Cathodic Arc Deposition, Handbook of Deposition Technologies for Films and Coatings, Ed. P. M. Martin, Elsevier Inc., Burlington 2010.*

Pro reaktivní magnetronové naprašování je typické, že dochází k náhodnému zapalování tzv. mikro oblouků na katodě, které jsou pro depozici kvalitních tenkých vrstev nežádoucí. K rozvoji mikro oblouků dochází díky vzniku velmi silného elektrického pole na např. malých dielektrických ploškách, které vzniknou na kovovém terči, který je vystaven působení reaktivního plynu (kyslík, dusík). Takto vzniklá dielektrická ploška se nabije kladnými ionty přicházejícími z plazmatu. Protože je katoda připojena na záporný potenciál několika stovek voltů, vznikne na povrchu terče silné elektrické pole, které vyvolá stimulovanou emisi elektronů z materiálu terče, což následně vede k lokálnímu zahřátí povrchu a dalšímu zvýšení teplotně stimulované elektronové emise z terče. Takto vzniklá pozitivní zpětná vazba vede k nekontrolovatelnému vzrůstu elektronové emise z malé plošky na terči, což je v důsledku spojené s lokálním roztavením materiálu terče. Současně emitované elektrony zajistí silnou ionizaci plynu v blízkosti výše uvedené plošky na terči. Tento jev pak pozorujeme jako malý a intenzivní katodový obloukový výboj náhodně se vyskytující na ploše terče. Tlak obloukového plazmatu na roztavený materiál na malé ploše terče následně vede ke vzniku mikro kráteru na terči spojený s vyvrhnutím mikroskopického množství materiálu (můžeme si to představit jako mikro kapičky materiálu terče) z terče do vakua. Takto vzniklá mikro částice pak putuje vakuem a většinou se dostane až na podložku, kde vytváří nežádoucí kapičky, často v literatuře nazývané jako makro částice z důvodů jejich velikosti vůči povrchové struktuře deponované tenké vrstvy. Tenká vrstva vytvořená magnetronovým naprašováním s přítomností mikro oblouků pak vykazuje výrazně vyšší hrubost, defekty atp. Detailní popis vzniku mikro oblouků při magnetronovém naprašování lze nalézt ve stati *A. Anders, Physics of arcing, and implications to sputter deposition, Thin Solid Films* 502, (2006) 22 až 28.

Nedávné studie prokázaly, že aplikace HiPIMS výboje pro rozprašování uhlíkového terče, kdy navíc nedochází k omezování nahodilých mikro obloukových výbojů na katodě, může vést k depozici tetrahedrálního amorfního uhlíku s vysokým obsahem hybridizovaných sp^3 vazeb, jak

je uvedeno ve stati *R. Ganesan, D. G. McCulloch, N. A. Marks, M. D. Tucker, J. G. Partridge, M. M. M. Bilek, D. R. McKenzie, Synthesis of highly tetrahedral amorphous carbon by mixed-mode HiPIMS sputtering, Journal of Physics D: Applied Physics 48, (2015) 442001*. Takové vrstvy vykazují vysokou tvrdost, nízký frikční koeficient a hustotu blíží se přírodnímu diamantu. Je třeba zdůraznit, že ve výše uvedených studiích docházelo k náhodnému zapálení katodového vakuového oblouku během HiPIMS pulzu, tzn., že část doby trvání HiPIMS pulzu byla vyplněna katodovým obloukem namísto standardního magnetronového výboje, jak je dokumentováno ve stati *M. D. Tucker, K. J. Putman, R. Ganesan, M. Lattemann, M. Stueber, S. Ulrich, M. M. M. Bilek, D. R. McKenzie, N. A. Marks, The behaviour of arcs in carbon mixed-mode high-power impulse magnetron sputtering, J. Phys. D. Appl. Phys. 50, (2017) 145205*. Ukazuje se, že četnost zapálení katodových oblouků závisí na procesních parametrech, jako je tlak v depoziční komoře, katodové napětí během HiPIMS pulzu, nastavené proudové omezení HiPIMS zdroje atp., což je ukázáno ve stati *M. D. Tucker, R. Ganesan, D. G. McCulloch, J. G. Partridge, M. Stueber, S. Ulrich, M. M. M. Bilek, D. R. McKenzie, N. A. Marks, Mixed-mode high-power impulse magnetron sputter deposition of tetrahedral amorphous carbon with pulse-length control of ionization, J. Appl. Phys. 119, (2016) 155303*.

Dosavadní technická řešení tedy počítají jen s náhodným spouštěním katodového vakuového oblouku během standardního HiPIMS výboje. Cílem je tedy představit technické řešení, které umožní řízené spouštění pulzně buzeného magnetronového výboje a katodového vakuového oblouku v přesně definovaných časech s nastavitelnou dobou trvání jednotlivých výše uvedených druhů výbojů. Cílené řízení pulzně buzeného magnetronového výboje a katodového vakuového oblouku umožní deponovat tenké vrstvy s lepšími parametry a definovanou depoziční rychlostí.

Podstata vynálezu

Předkládaný vynález řeší výše uvedený technický problém pomocí způsobu a zařízení pro vytváření pulzního magnetronového výboje společně s obloukovým odpařováním ve vakuové komoře, zejména pro nanášení povlaku na substrát.

Způsob obsahuje kroky:

- vytváření pulzně buzeného magnetronového výboje první pulzní napětíovou jednotkou; a
- iniciaci napětíového pulzu druhou pulzní jednotkou vytvářející katodový vakuový oblouk; přičemž první a druhá pulzní jednotka jsou paralelně spojené, a

přičemž podstata vynálezu spočívá v tom, že

- inicializační pulz vedoucí k zapálení katodového vakuového oblouku probíhá alespoň částečně současně s napětíovým pulzem první pulzní napětíové jednotky vytvářející magnetronový výboj; a v tom, že se
- oba napětíové pulzy sloučí v modulu přenášející pulzní napětí na magnetronovou katodu.

Paralelní spojení dvou pulzních napětíových jednotek, přičemž první pulzní napětíová jednotka vytváří pulzně buzený magnetronový výboj podle stavu techniky požadovaných parametrů, jako je délka pulzu plazmatu a opakovací frekvence; a druhá pulzní napětíová jednotka v definovaných časech připojuje na magnetronovou katodu paralelně další záporné napětí, které způsobí zapálení katodového vakuového oblouku. Paralelní spojení dvou nezávislých pulzních napětíových jednotek zajišťuje modul slučující napětíové pulzy generované pomocí výše uvedených dvou pulzních napětíových jednotek, přičemž modul vytváří napětíový překmit, který je přenášen na magnetronovou katodu. Ve výhodném provedení se opakovací frekvence pulzně buzeného magnetronového výboje pohybuje od 10 Hz do 90 kHz.

- Aby druhá pulzní jednotka mohla spolehlivě generovat napětový pulz pro zapálení katodového vakuového oblouku v konkrétním čase během pulzu výboje generovaného první pulzní napětovou jednotkou, je výhodné zapojit do série s druhou pulzní napětovou jednotkou indukčnost, která
- 5 zapříčiní vybuzení napětového překmitu při inicializaci záporného napětového pulzu na magnetronové katodě v okamžiku elektronického připojení druhé pulzní napětové jednotky k magnetronové katodě.
- Takto vygenerovaný napětový překmit na magnetronové katodě způsobí, že dojde po určité době
- 10 k inicializaci katodového vakuového oblouku, který bude hořet tak dlouho, dokud nedojde k vypnutí napětí na magnetronové katodě odpojením obou pulzních napětových jednotek.
- Vygenerovaný napětový překmit pomocí druhé pulzní napětové jednotky může být několikrát po sobě opakován, i když dojde mezitím k ukončení pulzu napětí generovaného první pulzní
- 15 napětovou jednotkou.
- V dalším výhodném provedení se obě napětové jednotky řídí na sobě nezávisle prostřednictvím signálového generátoru s dvěma nezávislými kanály.
- 20 Způsob vytvoření pulzního magnetronového výboje společně s obloukovým odpařováním ve vakuové komoře podle kteréhokoliv z výše uvedených provedení pro depozici povlaku, např. ve formě tenké vrstvy anebo množství tenkých vrstev, na substrát. Povlak může zejména být tenká vrstva připravená z kovových, oxidových, nitridových, uhlíkových nebo dalších sloučenin podle dosavadního stavu techniky na příslušných substrátech.
- 25 Další provedení předkládaného vynálezu představuje zařízení pro vytváření pulzního magnetronového výboje společně s obloukovým odpařováním ve vakuové komoře. Zařízení obsahuje magnetronovou katodu s terčem umístěnou ve vakuové komoře;
- 30 – první napětovou pulzní jednotku; a
- druhou napětovou pulzní jednotku; přičemž podstata vynálezu spočívá v tom, že zařízení dále obsahuje:
- 35 – modul slučující napětové pulzy generované pomocí pulzních napětových jednotek a vytvářející napětový překmit, přičemž je modul spojený s první a druhou napětovou pulzní jednotkou v paralelním zapojení; a tím, že
- modul je připojený k magnetronové katodě.
- 40 Zařízení definované výše je dále schopné vykonávat způsob podle tohoto vynálezu poskytující vytváření obloukového výboje současně s pulzním magnetronovým pulzem v definovaný čas.
- Ve výhodném provedení obsahuje zařízení cívku zapojenou v sérii s druhou pulzní napětovou
- 45 jednotkou zajišťující naindukování napětového překmitu na magnetronové katodě.
- V dalším výhodném provedení zařízení dále obsahuje signálový generátor s dvěma nezávislými kanály připojený k první a druhé napětové jednotce.
- 50 Výhodně obsahuje modul diodu paralelně spojenou s rezistorem, které jsou paralelně spojené s kapacitorem přes cívku, zajišťují ochranu pulzních napětových jednotek před vysokonapětovými pulzy, které se indukují na cívce a jsou opačné polarity než napětí generované na magnetronové katodě. Vysokonapětové pulzy jsou logickým důsledkem Lenzova zákona.

Další provedení vynálezu představuje použití zařízení podle výše uvedených provedení pro nanášení povlaku na substrát. Zařízení obsahuje zařízení pro vytváření pulzního magnetronového výboje společně s obloukovým odpařováním ve vakuové komoře podle kteréhokoliv z výše uvedených provedení a dále obsahuje substrát uvnitř vakuové komory, která slouží k depozici rozprášeného materiálu z terče magnetronové katody.

Objasnění výkresů

Konkrétní příklady provedení vynálezu jsou schematicky znázorněny na přiložených výkresech, kde představuje:

obr. 1 schéma zapojení zařízení pro generování HiPIMS výboje a katodového vakuového oblouku. Schéma ukazuje paralelní zapojení první a druhé napěťové pulzní jednotky spolu se zařízením pro vytváření paralelního spojení obou pulzních jednotek podle vynálezu;

obr. 2 příklad naměřeného napětí na magnetronové katodě U_C a výbojového proudu I_P během pulzního magnetronového výboje a katodového vakuového oblouku pro různě nastavené časy spuštění katodového vakuového oblouku;

obr. 3 schéma zapojení zařízení pro vytváření paralelní spojení obou pulzních napěťových jednotek spolu s indukčností, která generuje napěťový překmit; a

obr. 4 tvrdost a drsnost vrstev vyrobených podle stavu techniky a způsobem podle vynálezu.

Příklady uskutečnění vynálezu

Na obr. 1 je zobrazeno schéma zařízení pro vytváření pulzního magnetronového výboje společně s katodovým vakuovým obloukem 7. Zařízení obsahuje vakuovou komoru 6, kde je tlak monitorován vakuovou měrkou 3. Vakuová komora 6 je čerpaná vakuovou vývěvou 5 s regulací tlaku v komoře 6 pomocí ventilu 4. Ve vakuové komoře 6 je dále umístěna magnetronová katoda 1 s terčem a stolek 2 pro uložení substrátu 8, na který se může deponovat povlak, např. ve formě požadované tenké vrstvy. Magnetronová katoda 1 je připojena k modulu 11, který slučuje napěťové pulzy generované pomocí pulzních napěťových jednotek 9 a 10. Modul 11 zajišťuje paralelní spojení záporných potenciálů pulzních napěťových jednotek 9 a 10, zatímco kladné potenciály jsou připojeny na zemnění stejně jako samotná vakuová komora 6. Pulzní napěťové jednotky 9 a 10 jsou řízeny signálovým generátorem 12 SG s dvěma nezávislými kanály. První pulzní napěťová jednotka 9 generuje záporný napěťový pulz s např. dobou trvání výboje 100 μ s a opakovací frekvencí 100 Hz. Druhá pulzní napěťová jednotka 10 pak generuje záporný napěťový pulz na magnetronové katodě 1 s volitelným zpožděním např. 50 μ s od začátku napěťového pulzu první pulzní napěťové jednotky 9 a doba trvání druhého napěťového pulzu může být libovolně dlouhá. Tedy druhý napěťový pulz může skončit ještě během trvání prvního napěťového pulzu nebo může trvat dále i po skončení prvního napěťového pulzu. Napěťový pulz generovaný druhou pulzní napěťovou jednotkou 10 způsobí zapálení katodového vakuového oblouku 7 po uplynutí určité doby, která je závislá na aktuálních parametrech plazmatu, jako je hustota plazmatu nebo teplota elektronů.

Tato skutečnost je demonstrována na časovém průběhu katodového napětí U_C a výbojového proudu I_P uvedených na obr. 2. Na obr. 2 jsou uvedeny časové průběhy U_C a I_P pro tři různé konfigurace pulzních napěťových jednotek 9 a 10 při použití uhlíkového terče a pracovního plynu čistého argonu. Na obr. 2(a) je doba trvání napěťového pulzu generovaného první pulzní napěťovou jednotkou 9 nastavena na 100 μ s a druhá pulzní napěťová jednotka 10 aktivuje napětí na katodě 1 v čase 10 μ s po spuštění prvního napěťového pulzu a skončí po 50 μ s trvání. Časové průběhy U_C a I_P zobrazené na obr. 2(b) odpovídají době trvání pulzu první pulzní napěťové

jednotky 9 200 μ s a druhá pulzní napěťová jednotka 10 připojí napětí na katodu 1 v čase 50 μ s po začátku prvního pulzu napětí s dobou trvání 50 μ s. Na obr. 2(c) jsou zobrazeny časové průběhy U_c a I_p pro dobu trvání prvního napěťového pulzu 100 μ s a druhý napěťový pulz je aktivován v čase 40 μ s a trvá 60 μ s.

5

Na obr. 3 je uveden příklad uskutečnění modulu 11 podle vynálezu zajišťující paralelní spojení obou pulzních napěťových jednotek 9 a 10 a zároveň generující napěťový překmit na magnetronové katodě 1. Obr. 3 tedy obsahuje podrobné schéma zapojení elektronických součástek v modulu 11 slučovači napětí. Slučovač napětí zajišťuje připojení první a druhé pulzní napěťové jednotky 9 a 10 k magnetronové katodě 1. Zároveň také modul 11 zajišťuje, že elektrický proud teče vždy danou pulzní napěťovou jednotkou 9 nebo 10 do výboje jen v případě, že dioda D₁ a D₂ bude v propustném směru. Pak se obě pulzní napěťové jednotky 9 a 10 nemohou proudově ovlivňovat. Indukčnost L₂ zapojená v sérii s druhou pulzní napěťovou jednotkou 10 zajišťuje naindukování napěťového překmitu na magnetronové katodě 1 způsobující zapálení oblouku 7. Velikost napěťového překmitu lze regulovat stejnosměrným napětím, které je spínáno druhou pulzní jednotkou. Dioda D_A spolu s odporem R_A a kapacitou C_A zajišťují ochranu pulzních napěťových jednotek 9 a 10 před zkratem a vysokofrekvenčním rušením.

10

15

Obr. 4 dále představuje srovnávací experiment tvrdosti a drsnosti vrstev vyrobených podle dosavadního stavu techniky a podle způsobu nanášení podle předkládaného vynálezu. Na obr. 4 je zobrazena drsnost a tvrdost připravených vrstev podle dosavadního stavu techniky, který představuje DLC vrstvu (amorfní uhlík připravený plazmochemickými metodami) a ta-C (amorfní tetrahedrální uhlík) vrstvu připravenou obloukovým napařováním s novou ta-C vrstvou připravenou pomocí předkládaného řešení (prostřední sloupec). Tvrdost nové ta-C vrstvy připravené podle vynálezu je asi o 10 % nižší než tvrdost běžné ta-C připravené obloukovým výbojem, avšak drsnost radikálně poklesla a blíží se drsnosti vrstvy DLC. Vrstva připravená způsobem podle předkládaného vynálezu má tvrdost obdobnou s tvrdostí ta-C pomocí obloukového výboje a současně významně poklesla drsnost, což je klíčový parametr pro snížení tření. Kombinace těchto dvou parametrů, tj. vyšší tvrdosti a nižší drsnosti, lze průmyslově uplatnit jako odolné povlakové vrstvy na ložiscích, pístních kroužcích atp.

20

25

30

Průmyslová využitelnost

Způsob a zařízení pro vytváření pulzního magnetronového výboje společně s obloukovým odpařováním lze využít na průmyslové povlakování různých dílů a součástek. Typické využití je při vytváření tenkých vrstev vyznačujících se vysokou tvrdostí a adhezí k převážně kovovým nebo plastovým substrátům. Tyto povlaky lze s výhodou použít např. na obráběcí nástroje, ložiska atp.

35

PATENTOVÉ NÁROKY

1. Způsob vytváření pulzního magnetronového výboje společně s obloukovým odpařováním ve vakuové komoře (6), zejména pro nanášení povlaku na substrát, obsahující kroky:

- 5 – vytváření pulzně buzeného magnetronového výboje první pulzní napětovou jednotkou (9); a
- iniciaci napětového pulzu druhou pulzní jednotkou (10) vytvářející katodový vakuový oblouk (7); přičemž první a druhá pulzní jednotka (9) a (10) jsou paralelně spojené,

vyznačující se tím, že

- 10 – inicializační pulz vedoucí k zapálení katodového vakuového oblouku (7) probíhá alespoň částečně současně s napětovým pulzem první pulzní napětové jednotky (9) vytvářející magnetronový výboj; a tím, že

– oba napětové pulzy se sloučí v modulu (11) přenášející pulzní napětí na magnetronovou katodu (1).

15 2. Způsob podle nároku 1, **vyznačující se tím, že** krok zapálení katodového vakuového oblouku (7) dále obsahuje vybuzení napětového překmitu při inicializaci záporného napětového pulzu v okamžiku elektronického připojení druhé pulzní napětové jednotky (10) k magnetronové katodě (1).

3. Způsob podle nároku 2, **vyznačující se tím, že** napětový překmit se opakuje po dobu generování napětového pulzu na první pulzní napětové jednotce (9).

20 4. Způsob podle kteréhokoliv z výše uvedených nároků, **vyznačující se tím, že** se obě napětové jednotky (9) a (10) řídí na sobě nezávisle prostřednictvím signálového generátoru s dvěma nezávislými kanály.

5. Zařízení pro vytváření pulzního magnetronového výboje společně s obloukovým odpařováním ve vakuové komoře (6) podle kteréhokoli z nároků 1 až 4, obsahující:

25 – magnetronovou katodu (1) s terčem umístěnou ve vakuové komoře (6);

– první napětovou pulzní jednotku (9); a

– druhou napětovou pulzní jednotku (10);

vyznačující se tím, že zařízení dále obsahuje:

30 – modul (11) spojený s první a druhou napětovou pulzní jednotkou (9) a (10) v paralelním zapojení; a tím, že

– modul (11) je připojený k magnetronové katodě (1).

6. Zařízení podle nároku 5, **vyznačující se tím, že** dále obsahuje cívku zapojenou v sérii s druhou pulzní napětovou jednotkou (10).

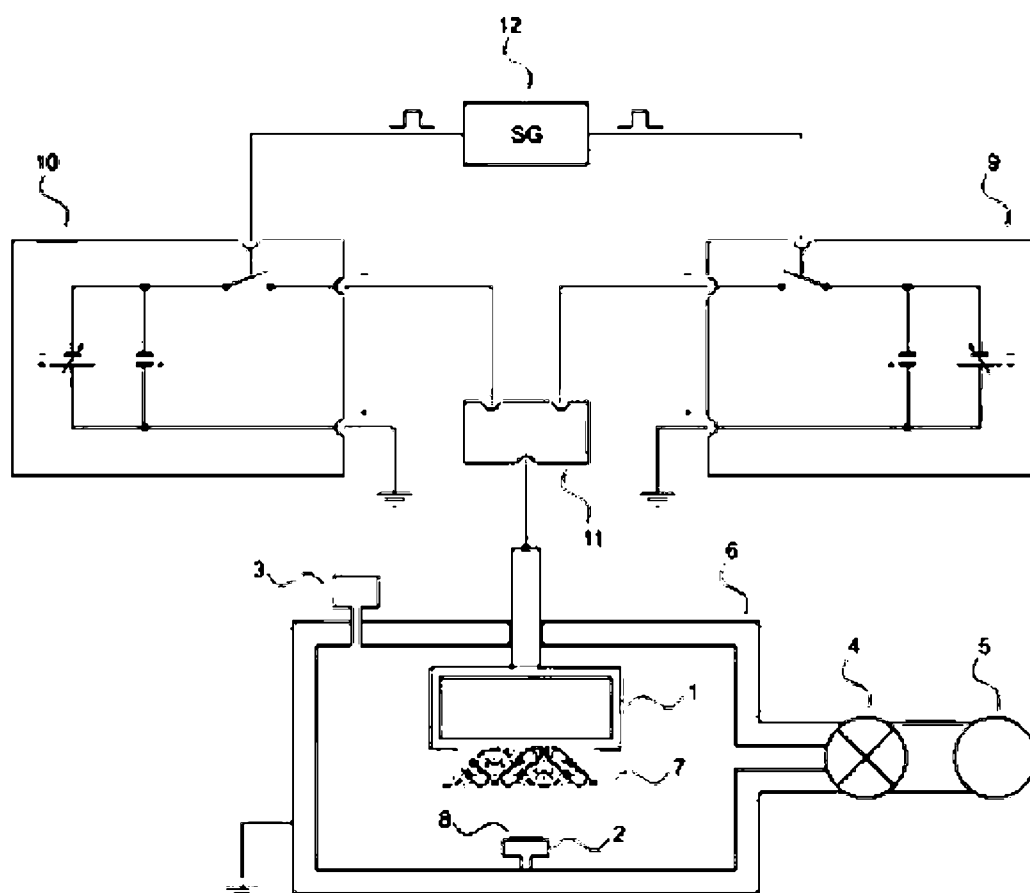
35 7. Zařízení podle nároku 5 nebo 6, **vyznačující se tím, že** dále obsahuje signálový generátor (12) s dvěma nezávislými kanály připojený k první a druhé napětové jednotce (9) a (10).

8. Zařízení podle kteréhokoliv z nároků 5 až 7, **vyznačující se tím**, že modul (11) obsahuje diodu (D_A) paralelně spojenou s rezistorem (R_A), které jsou paralelně spojené s kapacitorem (C_A) přes indukčnost (L_2).

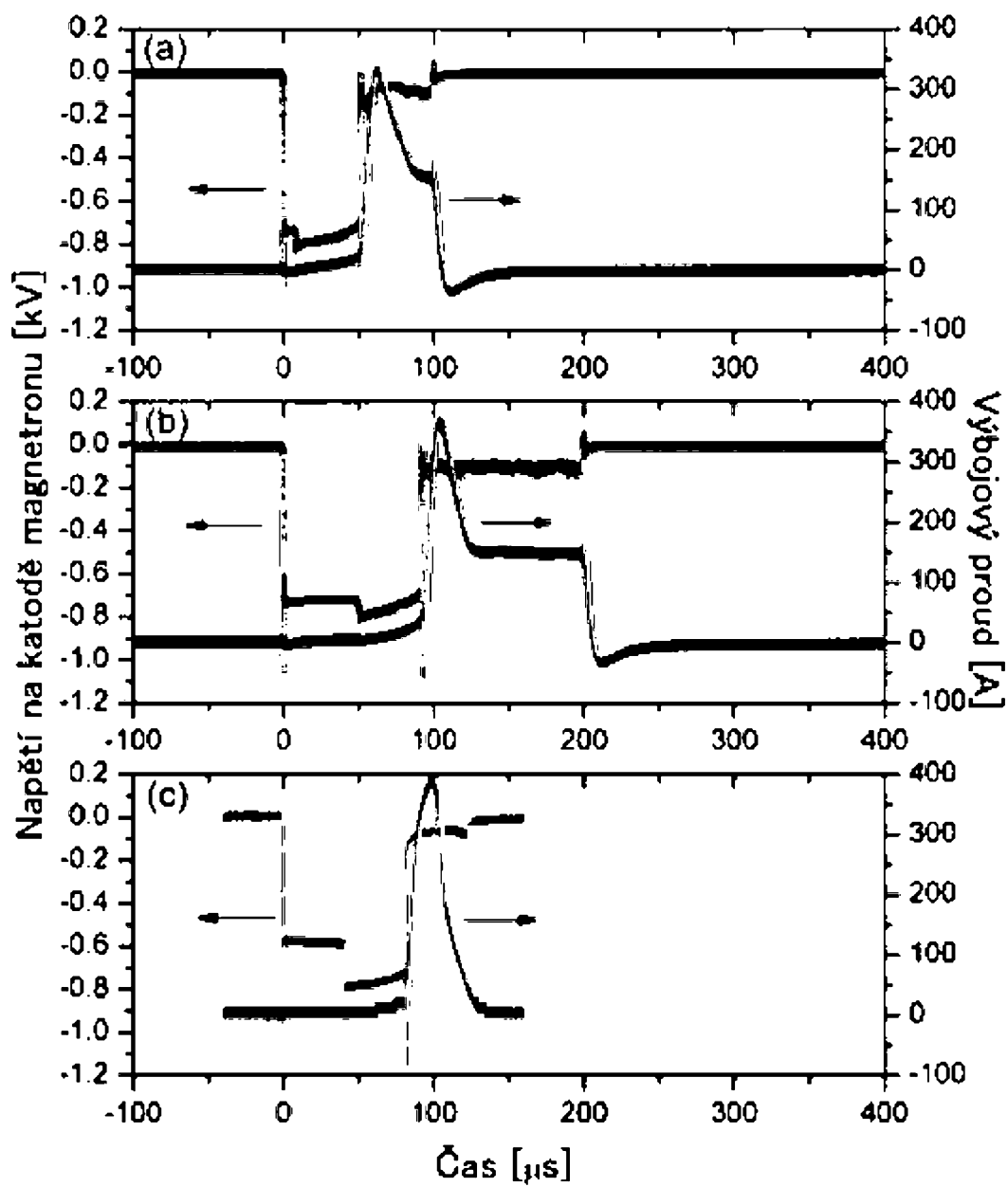
9. Použití zařízení podle kteréhokoliv z nároků 5 až 8 pro nanášení povlaku na substrát (8).

5

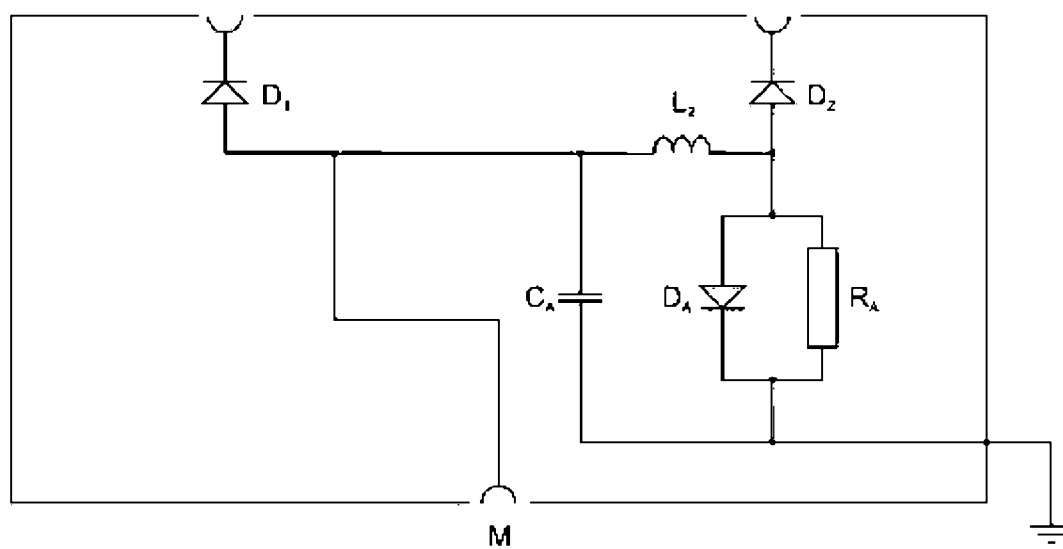
4 výkresy



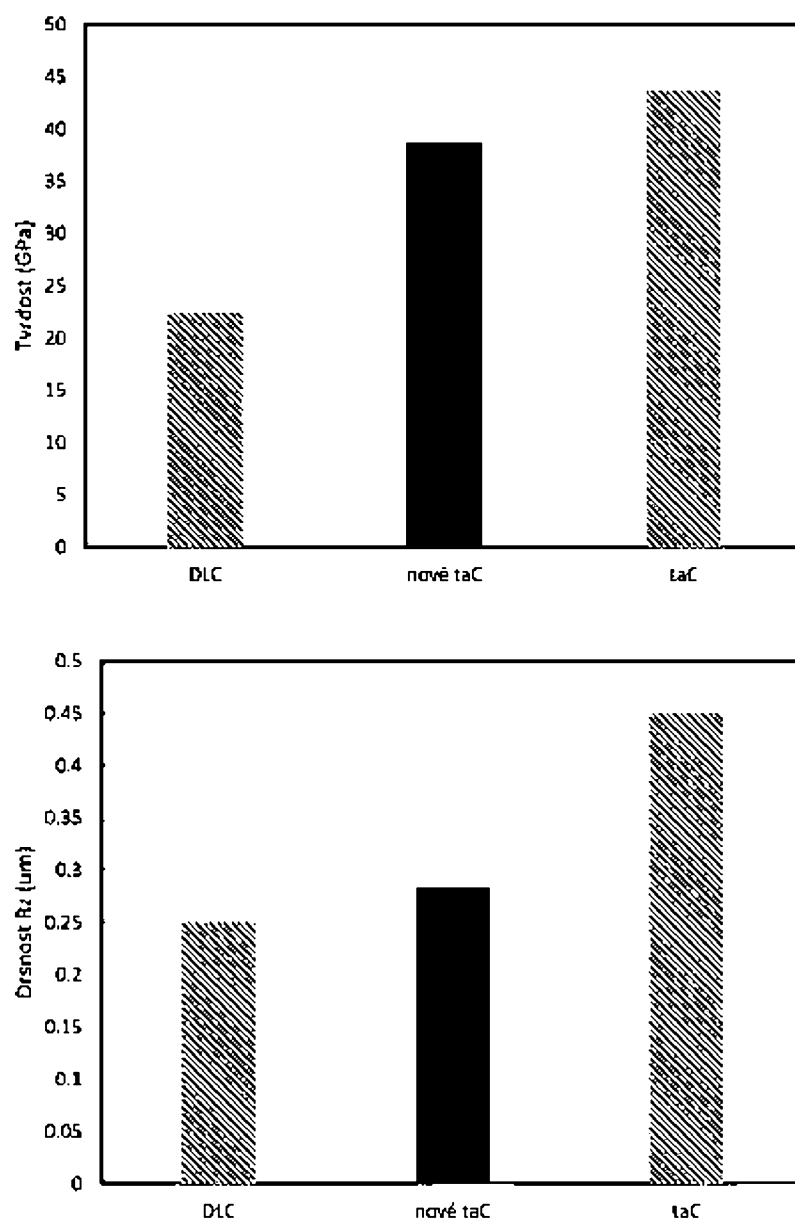
Obr. 1



Obr. 2



Obr. 3



Obr. 4