

PATENTOVÝ SPIS

(19)
ČESKÁ
REPUBLIKA



ÚŘAD
PRŮMYSLOVÉHO
VLASTNICTVÍ

(21) Číslo přihlášky: **2009-182**
(22) Přihlášeno: **26.03.2009**
(40) Zveřejněno: **08.12.2010**
(Věstník č. 49/2010)
(47) Uděleno: **24.04.2013**
(24) Oznámení o udělení ve Věstníku: **05.06.2013**
(Věstník č. 23/2013)

(11) Číslo dokumentu:

303 867

(13) Druh dokumentu: **B6**

(51) Int. Cl.:
C23C 14/48 (2006.01)
H01J 37/04 (2006.01)

(56) Relevantní dokumenty:

CZ 251 011 B1; CZ 252 707 B1; CZ 252 859 B1; CN 1328344 A; JP 10204635 A.

Kirschner J., An evaporation source for ion beam assisted deposition in ultrahigh vacuum, Review of Scientific Instruments, 2002, vol. 73, no. 11, p. 3853-3860; Ensinger W., Ion sources for ion beam assisted thin-film deposition, Review of Scientific Instruments, 1992, vol. 63, no. 11, p. 5217-5233.

(73) Majitel patentu:

Vysoké učení technické v Brně, Brno, CZ

(72) Původce:

Šíkola Tomáš Prof. RNDr. CSc., Brno, CZ
Mach Jindřich Ing., Vsetín, CZ

(74) Zástupce:

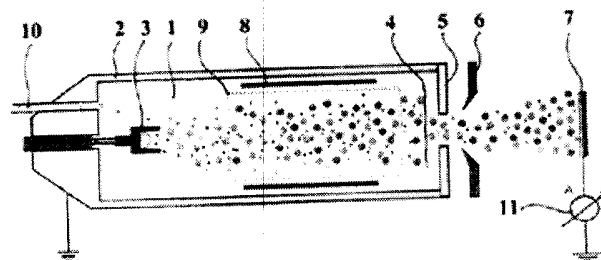
KANIA, SEDLÁK, SMOLA Patentová a známková
kancelář, Ing. František Kania, Mendlovo nám. 1a, Brno,
60300

(54) Název vynálezu:

Zařízení k nanášení ultratenkých vrstev

(57) Anotace:

Zařízení k nanášení ultratenkých vrstev je umístěno v ultravakuumovém prostoru a tvořeno iontově atomárním zdrojem (1) uspořádaným v obalu (2), extrakční elektrodou (6) pro fokusaci iontového svazku na substrát (7), uspořádanou u otevřeného konce obalu (2), a za ní uloženým substrátem (7) pro nanášení ultratenké vrstvy. Iontově atomární zdroj (1) sestává z anody (3) a proti anodě (3) uloženého zdroje (4) elektronů. Obal (2) je u anody (3) uzavřený a u zdroje (4) elektronů otevřený a opatřený aperturou (5). Mezi anodou (3) a proti ní uloženým zdrojem (4) elektronů je uspořádána ionizační klec (9), jejíž stěny jsou tvořeny pro elektrony i ionty propustnou mřížkou a která je pro odstínění potenciálu ionizační klece (9) od okolních potenciálů oddělena od obalu (2) iontově atomárního zdroje (1) stínicí elektrodou (8). Stínicí elektroda (8) je směrem k anodě (3) i směrem ke zdroji (4) elektronů otevřená a obklopuje dráhu elektronů a iontů mezi anodou (3) a zdrojem (4) elektronů. Anoda (3), mřížka ionizační klece (9), stínicí elektroda (8), zdroj (4) elektronů, extrakční elektroda (6) a substrát (7) jsou elektricky odizolovány a připojeny k odděleným napěťovým zdrojům. Obal (2), stínicí elektroda (8) i ionizační klec (9) jsou s výhodou válcového tvaru a jsou uspořádány souose. Napěťové zdroje napájející zdroj (4) elektronů a mřížky ionizační klece (9) jsou ve výhodném provedení nastaveny na rozdíl potenciálů mřížky ionizační klece (9) a zdroje (4) elektronů v typickém rozmezí od +50 do +150 V. Napěťové zdroje napájející zdroj (4) elektronů a substrát (7) mají vůči sobě nastavitelné napětí pro dosažení optimální energie na substrát (7) dopadajících iontů.



CZ 303867 B6

Zařízení k nanášení ultratenkých vrstev

Oblast techniky

5

Vynález se týká zařízení k nanášení ultratenkých vrstev, umístěného v ultravakuovém prostoru. Toto zařízení je tvořeno v obalu uspořádaným iontově atomárním zdrojem, jehož podstatnou částí je anoda a proti anodě uložený zdroj elektronů. Obal je u anody uzavřený a u zdroje elektronů otevřený a je opatřený aperturní clonou. Dále je toto zařízení tvořeno u otevřeného konce obalu uspořádanou extrakční elektrodou a za ní uloženým substrátem pro nanášení ultratenké vrstvy, přičemž extrakční elektroda je určena pro fokusaci elektronového a iontového svazku na substrát.

15

Dosavadní stav techniky

Zejména v oblastech polovodičového a elektrotechnického průmyslu hrají významnou roli ultratenké vrstvy a jejich kvalita. Tato kvalita je zpravidla dána provozními parametry zařízení k nanášení ultratenkých vrstev, jako jsou čistota a homogenita svazku nanášených iontů, jejich obsah ve svazku a energie i rychlost depozice.

Bylo zjištěno, že současným bombardováním substrátu ionty v průběhu depozice vrstvy může dojít ke zlepšení vlastností nanášené vrstvy. Ionty dopadající na substrát tvoří povrchové defekty, jež mohou sloužit jako nukleační místa pro následně dopadající nízkooenergiové atomy, tedy atomy s energií 0,1 až 1,0 elektronvoltu. Tímto vytvářením nukleačních míst na povrchu může docházet ke zvyšování množství zárodečných ostrůvků. Poměr iontů vůči neutrálním částicím, jakož i energie iontů, hrají podstatnou roli při růstu vrstev. Iontově atomární zdroj by měl poskytnout svazek sestávající z neutrálních částic o termální energii a iontů s nízkou energií, cca 10 až 100 elektronvoltů. Při vysoké energii iontů může totiž docházet k výraznému poškození vrstvy.

Jsou známa zařízení k nanášení ultratenkých vrstev, např. z článku „An evaporation source for ion beam assisted deposition in ultrahigh vacuum“ z Review of Scientific Instruments. Vol. 73, No. 11 z listopadu 2002. Zde popsané zařízení k nanášení ultratenkých vrstev je tvořené obalem, jehož vnitřní prostor je vyčerpán na hodnotu ultravakua a jsou v něm uspořádány anoda ve formě tyčky nebo kelímku, proti anodě zdroj elektronů, tvořený žhaveným wolframovým vláknem, za ním je uspořádána extrakční elektroda a za ní uložený vzorek. Elektrony emitované žhaveným wolframovým vláknem mají termální energii v rozsahu 0,1 až 1,0 elektronvoltů. Typický rozdíl napětí mezi anodou a zdrojem elektronů je 500 až 1500 voltů. Anoda je vyhřívána koncentrickým tokem elektronů uvolňovaných ze zdroje elektronů, tedy z vyhřívaného wolframového vlákna, dopadajícím na anodu s energií danou jejich urychlením rozdílem elektrických potenciálů anody a zdroje elektronů. Z vyhřívané anody se odpařují atomy materiálu tohoto zdroje a vytvoří se tak okolo něj atomový mrak s odhadovaným ekvivalentním tlakem 10^{-8} milibarů. Některé z těchto plynných atomů jsou ionizovány elektrony a urychlovány směrem od anody. Poté co projdou aperturní clonou, pohybují se podél přímých drah, až některé z nich dopadnou na sběrnou elektrodu nebo případně na vzorek. Poněvadž pro daný materiál, geometrii, urychlovací napětí a konstantní emisní proud je poměr mezi ionizovanými kovovými atomy dopadajícími na sběrnou elektrodu a neutrálními kovovými atomy dopadajícími na vzorek konstantní, může být zdroj kalibrován užitím krystalového měřiče tlouštěk nebo např. podle oscilací odrazu elektronů při vysokoenergiové elektronové difrakci.

Nevýhodou tohoto řešení je, že svazek obsahuje převážně ionty o poměrně vysoké energii, cca 700 až 900 elektronvoltů s širokým rozptylem až několika stovek elektronvoltů. Toto řešení

neumožňuje získat iontové svazky o nízké energii ani optimalizovat ionizační účinnost a tím ani získat vysoký poměr iontů k neutrálním atomům ve svazku.

5 Podstata vynálezu

Uvedené nedostatky dosavadního stavu techniky do značné míry eliminuje zařízení k nanášení ultratenkých vrstev podle vynálezu, které je umístěno v ultravakuovém prostoru a tvořeno jednak iontově atomárním zdrojem uspořádaným v obalu a jednak extrakční elektrodou pro fokusaci iontového svazku na substrát, uspořádanou u otevřeného konce obalu, a za ní uloženým substrátem pro nanášenou ultratenkou vrstvu. Iontově atomární zdroj sestává z anody a proti anodě uloženého zdroje elektronů. Obal je u anody uzavřený a u zdroje elektronů otevřený a opatřený aperturní clonou. Podstatou vynálezu přitom je, že mezi anodou a proti ní uloženým zdrojem elektronů je uspořádána ionizační klec, jejíž stěny jsou tvořeny pro elektrony i ionty propustnou mřížkou a která je pro odstínění potenciálu ionizační klece od potenciálu obalu iontově atomárního zdroje oddělena stínicí elektrodou. Stínicí elektroda je směrem k anodě i směrem ke zdroji elektronů otevřená a obklopuje dráhu elektronů a iontů mezi anodou a zdrojem elektronů. Anoda, mřížka ionizační klece, stínicí elektroda, zdroj elektronů, extrakční elektroda a substrát jsou elektricky odizolovány a připojeny k odděleným napětovým zdrojům.

Ve výhodném provedení vynálezu jsou obal, stínicí elektroda i ionizační klec válcovitého tvaru a jsou uspořádány souose.

V dalším výhodném provedení vynálezu jsou napětové zdroje napájející zdroj elektronů a mřížku ionizační klece nastaveny na rozdíl potenciálů mřížky ionizační klece a zdroje elektronů v typickém rozmezí od +50 do +150 V.

V jiném výhodném provedení vynálezu mají napětové zdroje napájející zdroj mřížky ionizační klece a mřížku ionizační klece mají vůči sobě nastavitelné napětí pro dosažení optimální účinnosti ionizace v ionizační kleci.

Anoda je v dalších výhodných provedeních vynálezu vytvořena jako kovový kalíšek, případně jako kovová tyč.

Konečně v dalším výhodném provedení vynálezu je do prostoru obklopujícího anodu je zaústěn přívod plynu.

40 Přehled obrázku na výkrese

Vynález bude dále podrobněji popsán podle přiloženého výkresu, na němž je znázorněno příkladné provedení zařízení k nanášení ultratenkých vrstev.

45 Příklady provedení vynálezu

Na obrázku je schématicky znázorněno příkladné zařízení k nanášení ultratenkých vrstev. Toto zařízení je uloženo v prostoru vyčerpaném na hodnotu ultravakua a obsahuje iontově atomární zdroj 1 tvořený obalem 2, který je v příkladném provedení na obrázku válcovitý, v obalu 2 uspořádanými anodou 3 a proti anodě 3 uloženým zdrojem 4 elektronů. Obal 2 je u anody 3 uzavřený a u zdroje 4 elektronů otevřený. Otevřený konec obalu 2 je opatřen aperturní clonou 5, která je vytvořena jako deska se středním otvorem, v příkladném provedení prstencová, přičemž její střední otvor, který je v příkladném provedení kruhový, je menší než vnitřní průměr obalu 2. Za otevřeným koncem obalu 2 je uspořádána extrakční elektroda 6 a za ní je uložený substrát 7.

Mezi anodou 3 a proti ní uloženým zdrojem 4 elektronů je uspořádána stínicí elektroda 8, která je v příkladném provedení válcovitá, přičemž podélná osa této válcovité stínicí elektrody 8 leží na spojnici anody 3 a zdroje 4 elektronů. Ve stínicí elektrodě 8 je uložena ionizační klec 9, jejíž stěny jsou tvořeny pro elektrony i ionty propustnou mřížkou. Do prostoru obklopujícího anodu 3 je zaústěn přívod 10 plynu.

Stěny stínicí elektrody 8 v příkladném provedení v podstatě kopírují stěny válcovitého obalu 2, přičemž válec stínicí elektrody 8 je na obou svých základnách otevřený. Ionizační klec 9, jejíž stěny jsou tvořeny mřížkou, je v zobrazeném příkladném provedení rovněž válcovitého tvaru, avšak tento válec je na obou stranách naopak uzavřený mřížkou.

Anoda 3, zdroj 4 elektronů, stínicí elektroda 8, ionizační klec 9, extrakční elektroda 6 a substrát 7 jsou připojeny ke svým napětovým zdrojům, které nejsou na obrázku znázorněny. Výstupní napětí těchto napětových zdrojů lze nezávisle na sobě měnit, přičemž pro funkci zařízení podle vynálezu musí napětový zdroj anody 3 být schopen dát napětí v řádu kilovoltů a ostatní napětové zdroje nejvýše do řádu stovek voltů.

V příkladném provedení je anoda 3 na potenciálu +2000 voltů, zdroj 4 elektronů je na potenciálu 0 voltů, stínicí elektroda 8 je na potenciálu + 200 voltů oproti zdroji 4 elektronů, ionizační klec 9 je na potenciálu + 100 voltů oproti zdroji 4 elektronů, extrakční elektroda 6 je na potenciálu - 400 voltů a substrát 7 je přes měřic 11 proudy substrátem 7 uzemněn.

V činnosti zařízení podle vynálezu mají elektrony emitované elektronovým zdrojem 4, v příkladném provedení žhaveným wolframovým vláknem, termální energii v rozsahu 0,1 až 1,0 elektronvoltů. Tyto elektrony jsou urychleny potenciálem ionizační klece 9, tedy 100 volty, a následně vstupují do ionizačního prostoru v ionizační kleci 9. Ionizační prostor je ohraničen ionizační klecí 9, která definuje konstantní potenciál v celém jeho objemu. Potenciál okolo 100 V je optimálním potenciálem pro největší účinnost ionizace v ionizační kleci 9. Všechny elektrony se v prostoru ionizační klece 9 pohybují rovnoměrně přímočaře s energií danou rozdílem potenciálů ionizační klece 9 a elektronového zdroje 4. Po průchodu ionizační klecí 9 jsou tyto elektrony urychlovány směrem k anodě 3, která je vyhřívána koncentrickým tokem elektronů dopadajícím na anodu 3. Z vyhřívání anody 3 se odpařují atomy materiálu a vytváří se tak okolo ní atomární mrak s odhadovaným ekvivalentním tlakem 10^{-8} milibarů. Vzniklý atomární svazek částic přechází efúzním tokem ionizačním prostorem uvnitř ionizační klece 9 směrem na substrát 7. Při této cestě je určitá část neutrálního atomárního svazku ionizována elektrony. Takto vzniklé kladné ionty jsou vysokým záporným potenciálem - 400 voltů extrakční elektrody 6 extrahovány z prostoru iontově atomárního zdroje. Následně ionty dopadají na substrát 7 s energií určenou rozdílem potenciálů mezi místem jejich vzniku a substrátem 7. Stejným způsobem jako atomy vypařovaného materiálu mohou být ionizovány i atomy plynu, který je napouštěn přívodem 10 plynu, který je zaústěn do prostoru v blízkosti anody 3.

Takto se získá smíšený svazek neutrálních atomů či molekul a iontů.

Zavedením ionizační klece 9 mezi anodu 3 a zdroj 4 elektronů se získá optimalizovaná ionizační účinnost a iontově atomární svazek s ionty o definované nastavitelných nízkých energiích v rozmezí 20 až 300 elektronvoltů. Nastavení energie iontů dopadajících na substrát 7 se provádí nastavením rozdílu potenciálů mřížky ionizační klece 9 a substrátu 7, přičemž platí, že je-li rozdíl potenciálů mřížky ionizační klece 9 a substrátu 7 x Voltů, dopadají ionty na substrát 7 s energií x elektronvoltů.

Takto např. pro nastavení energie dopadajících iontů na 20 eV se při uzemněném substrátu 7 nastaví potenciál mřížky ionizační klece 9 na 20 V. Pro zachování optimální ionizační účinnosti je pak třeba nastavit potenciál zdroje 4 elektronů, tedy wolframového vlákna, na - 80 V. Za takto

vého uspořádání bude urychlovací potenciál ionizační klece 9 vůči potenciálu zdroje 4 elektronů právě těch optimálních 100 V.

Pokud je třeba nastavit energii dopadajících iontů na 200 eV, nastaví se při uzemněném substrátu 7 potenciál mřížky ionizační klece 9 na 200 V. Pro zachování optimální ionizační účinnosti je pak třeba nastavit potenciál zdroje 4 elektronů, tedy wolframového vlákna, na 100 V. I za takového uspořádání bude urychlovací potenciál ionizační klece 9 vůči potenciálu zdroje 4 elektronů právě těch optimálních 100 V.

Pokud je třeba nastavit energii dopadajících iontů na 120 eV, nastaví se při uzemněném substrátu 7 potenciál mřížky ionizační klece 9 na 120 V. Pro zachování optimální ionizační účinnosti je pak třeba nastavit potenciál zdroje 4 elektronů, tedy wolframového vlákna, na 20 V. I za takového uspořádání bude urychlovací potenciál ionizační klece 9 vůči potenciálu zdroje 4 elektronů právě těch optimálních 100 V.

Výhodou tohoto uspořádání je společný dopad iontů a neutrálních částic na substrát 7 i vyšší poměr iontů vůči neutrálním částicím, nízká energie iontů a nízký rozptyl jejich energií. Ionty dopadající na substrát 7 tvoří povrchové defekty, jež mohou sloužit jako nukleační místa pro následně dopadající termální atomy, tedy atomy s energií 0,1 až 1,0 elektronvoltu. Tímto vytvářením nukleačních míst na povrchu dochází ke zvyšování množství zárodečných ostrůvků. Poměr iontů vůči neutrálním částicím, jakož i energie iontů, které hrají podstatnou roli při růstu vrstev, je u tohoto zařízení popsáním způsobem optimalizován. Iontově atomární zdroj poskytuje svazek sestávající z neutrálních částic o termální energii a iontů s nízkou energií, cca 10 až 100 elektronvoltů. Nedochází tak k výraznému poškození vrstvy, které by nastalo, pokud by energie iontů byla vysoká.

Průmyslová využitelnost

Vynález je možno využít k nanášení ultratenkých vrstev, zejména v oblastech polovodičového a elektrotechnického průmyslu.

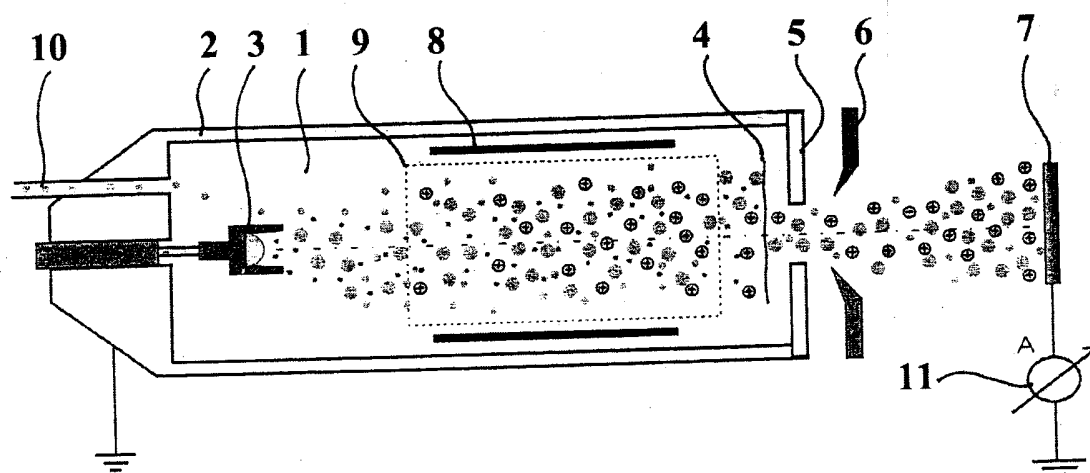
P A T E N T O V É N Á R O K Y

1. Zařízení k nanášení ultratenkých vrstev, umístěné v ultravakuovém prostoru a tvořené jednak iontově atomárním zdrojem (1) uspořádaným v obalu (2) a dále sestávajícím z anody (3) a proti anodě (3) uloženého zdroje (4) elektronů, kde obal (2) je u anody (3) uzavřený a u zdroje (4) elektronů otevřený a opatřený aperturní clonou (5), a jednak u otevřeného konce obalu (2) uspořádanou extrakční elektrodou (6) pro fokusaci iontového svazku na substrát (7) a za ní uloženým substrátem (7) pro nanášenou ultratenkou vrstvu, **vyznačující se tím**, že mezi anodou (3) a proti ní uloženým zdrojem (4) elektronů je uspořádána ionizační klec (9), jejíž stěny jsou tvořeny pro elektrony i ionty propustnou mřížkou a která je pro odstínění potenciálu ionizační klece (9) od potenciálu obalu (2) iontově atomárního zdroje (1) oddělena od obalu (2) iontově atomárního zdroje (1) stínicí elektrodou (8), která je směrem k anodě (3) i směrem ke zdroji (4) elektronů otevřená a která obklopuje dráhu elektronů a iontů mezi anodou (3) a zdrojem (4) elektronů, a přičemž anoda (3), mřížka ionizační klece (9), stínicí elektroda (8), zdroj (4) elektronů, extrakční elektroda (6) a substrát (7) jsou elektricky odizolovány a připojeny k odděleným napěťovým zdrojům.

2. Zařízení k nanášení ultratenkých vrstev podle nároku 1, **vyznačující se tím**, že obal (2), stínící elektroda (8) i ionizační klec (9) jsou válcovitého tvaru a jsou uspořádány souose.
- 5 3. Zařízení k nanášení ultratenkých vrstev podle nároku 1, **vyznačující se tím**, že napěťové zdroje (4) elektronů a mřížky ionizační klece (9) jsou nastaveny na rozdíl potenciálů mřížky ionizační klece (9) a zdroje (4) elektronů v typickém rozmezí od +50 do +150 V.
- 10 4. Zařízení k nanášení ultratenkých vrstev podle nároku 1, **vyznačující se tím**, že napěťové zdroje (4) elektronů a mřížky ionizační klece (9) mají vůči sobě nastavitelné napětí pro dosažení optimální účinnosti ionizace v ionizační kleci (9).
- 15 5. Zařízení k nanášení ultratenkých vrstev podle nároku 1, **vyznačující se tím**, že anoda (3) je vytvořena jako kovový kalíšek.
6. Zařízení k nanášení ultratenkých vrstev podle nároku 1, **vyznačující se tím**, že anoda (3) je vytvořena jako kovová tyč.
- 20 7. Zařízení k nanášení ultratenkých vrstev podle nároku 1, **vyznačující se tím**, že do prostoru obklopujícího anodu (3) je zaústěn přívod (10) plynu.

25

I výkres



Konec dokumentu