

(12) **PATENTO APRAŠYMAS**

(21) Paraiškos numeris: **2024 528**
(22) Paraiškos padavimo data: **2024-07-19**
(41) Paraiškos paskelbimo data: **2026-01-26**
(45) Patento paskelbimo data: **2026-03-25**

(73) Patento savininkas:
I-Photonics UAB, Parko g. 3, Avižienių k., LT-14198, Vilniaus raj., LT

(72) Išradėjas:
Khakhlou YAUHEN, LT
Aliaksandr MYSLIVETS, LT
Rabatuyev HENADZ, TW

(74) Patentinis patikėtinis/atstovas:
Reda ŽABOLIENĖ, 7, METIDA, Verslo centras „VERTAS“, Gynėjų g. 16, LT-01109 Vilnius, LT

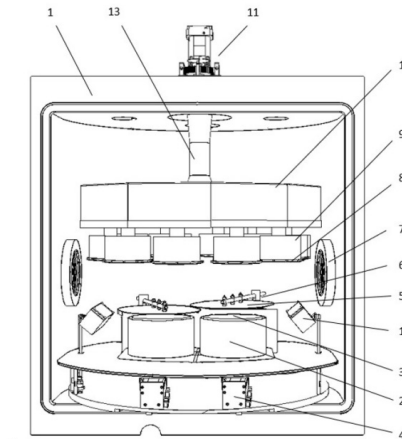
LT 7187 B

(54) Pavadinimas:

Vakuuminis įrenginys ir daugiasluoksnių plonasluoksnių tikslųjų optinių dangų gamybos būdas

(57) Referatas:

Siūlomas vakuuminis įrenginys ir daugiasluoksnių plonasluoksnių optinių dangų gamybos jame būdas gali būti naudojami pramoninėje tikslųjų optinių gaminių, kuriuose yra daugiasluoksnės plonasluoksnės dangos, sudarytos iš šimto ar daugiau sluoksnių, gamyboje. Vakuuminis įrenginys skiriasi nuo žinomų panašios paskirties prototipų tuo, kad procesų kameroje įrengtas lyginis magnetronų (2), galinčių judėti savo padėties plokštumoje, skaičius, o ant dviejų magnetronų (2), sudarančių magnetroninio purškimo sistemą, sumontuoti vienodų medžiagų taikiniai (3); plazmos šaltiniai (7), padedantys veikti magnetroninio purškimo sistemoms, sumontuoti ant šoninių vakuuminės procesų kameros (1) sienų virš taikinių (3) darbinių paviršių, ant kurių sumontuoti laikikliai (9) substratams (8) tvirtinti. Daugiasluoksnių plonasluoksnių tikslųjų optinių dangų dengimo būdas apima magnetroninį purškimą su plazmos šaltinių pagalba. Kiekvieno substrato (8) apsisukimo aplink centrinę vakuuminio proceso kameros (1) ašį metu substratas (8) tam tikrą laiką būna magnetroninio purškimo sistemos didelio tankio plazmos zonoje (purškimo zonoje), kurioje ant substrato (8) paviršiaus nusodinama iš dalies oksiduota taikinio (3) medžiaga. Apskaičiuotos nusodintos dangos optinių charakteristikų reikšmių pasiekimas užtikrinamas naudojant pagamintų plonų sluoksnių optinio storio kontrolės sistemą.



1 pav.

IŠRADIMO SRITIS

Šis išradimas yra susijęs su vakuumine technika ir technologijomis, ypač su vakuuminiais įrenginiais, skirtais daugiasluoksnėms plonasluoksnėms optinėms dangoms ant optinių elementų dengti.

TECHNIKOS LYGIS

Vakuuminis įrenginys ir jo naudojimą optinių dangų gamybos būdai galima pritaikyti pramoninėje siaurajuosčių interferencinių filtrų, naudojamų astrofizikiniuose tyrimuose monochromatiniams kosminių objektų vaizdams gauti, pramoninėje gamyboje, šviesolaidiniuose ryšio tinkluose, veikiančiuose daugiakanaliu nuosekliajame duomenų perdavimu; optinių sistemų, pavyzdžiui, labai atspindinčių veidrodžių, spektro daliklių su stačia priekine dalimi ir kitų gaminių, kurių sudėtyje yra daugiasluoksnių plonasluoksnių dangų, turinčių šimtą ir daugiau sluoksnių, pasižyminčių šiomis savybėmis, gamyboje.

Patento dokumente US6736943 aprašomas vakuuminis įrenginys, sudarytas iš vakuuminės proceso kameros, kurioje sumontuotas standus rėmas, laikiklis su pritvirtintu optiniu substratu, kurio išorinis paviršius atidengiamas proceso kameroje daugiasluoksniui padengimui, ir proceso įtaisus dangoms gaminti. Naudojami proceso įtaisai su taikiniais, sumontuotais ant standaus rėmo. Vakuuminio įrenginio konstrukcija leidžia valdyti atstumą nuo taikinių darbinių paviršių iki viršutinio substrato paviršiaus naudojant specialius judesio įtaisus.

Be įvairių proceso parametrų stebėjimo įtaisų, vakuuminiame įrenginyje yra įtaisas, skirtas nuolat kontroliuoti kiekvieno daugiasluoksnės dangos plonos plėvelės sluoksnio storį. Dengiant optines dangas ant substrato, griežtai kontroliuojamas pagamintų plonos plėvelės sluoksnių storis, kuris turi būti tolygus visame išoriniame substrato paviršiuje. Optinėms plonom plėvelėms jų optinis storis yra tikslesnė charakteristika nei geometrinis storis, nes jis lemia dangos optines savybes. Todėl

šiuolaikinėse vakuuminėse sistemose gaminant optines plonasluoksnes dangas paprastai kontroliuojamas optinis storis.

Patento dokumente US6736943 aprašytame vakuuminiame įrenginyje įrengta optinės kontrolės sistema, kuri naudojama pastoviai dangos optinio storio kontrolei

atlikti. Siekiant kontroliuoti dangos tolygumą substrato paviršiuje, tikrinimas atliekamas dviuose vietose – substrato centre ir tam tikru atstumu nuo jo.

Pagrindinis aprašyto vakuuminio įrenginio trūkumas yra tas, kad neįmanoma užtikrinti reikiamo technologinio proceso našumo, nes jame taikomi dangos gamybos būdai yra mažai našūs, o įrenginio konstrukcija neleidžia naudoti daug laikiklių.

Dokumentuose US4851095, US5944964, US6207536, US6274014 ir US6328865 yra

aprašyti tiek nurodyto vakuuminio įrenginio, tiek plonų plėvelių dengimo būdo jame analogai. Minėtuose šaltiniuose aprašomi įrenginiai, sudaryti iš vakuuminės kameros, kurios centre yra cilindro formos įtaisas substratui tvirtinti (substrato laikiklis), suprojektuotas taip, kad jį būtų galima pasukti apie centrinę ašį. Dangų gamybos procese naudojami technologiniai įrenginiai yra tvirtinami prie šoninių vakuuminės proceso kameros sienelių aplink cilindrinį laikiklį, kurio vidinė erdvė yra suskirstyta į atskirus skyrius su vienu technologiniu įtaisu. Šie skyriai nėra izoliuoti vienas nuo kito, bet iš esmės yra nepriklausomi, o juose vykstantys procesai valdomi autonomiškai.

Šiuose patentiniuose dokumentuose aprašytas plonos plėvelės dengimo būdas apima plonos plėvelės sluoksnių padengimą vakuuminiu būdu ant substratų, dedamų ant besisukančio cilindrinio laikiklio, ir jų oksidavimą. Sukantis cilindriniam substrato laikikliui aplink jo centrinę ašį, substratas juda pro proceso įrenginius, tokius kaip tiksliniai magnetronai ir plazmos šaltiniai. Šiuo atveju plonos plėvelės sluoksnių formavimas ant substratų vyksta skyriuose su magnetronais, o jų oksidacija – kituose skyriuose, kuriuose yra plazmos šaltiniai.

Daugiasluoksnių plonasluoksnių optinių dangų dengimo būdai, aprašyti minėtuose dokumentuose, yra vakuuminis dangų dengimas ant įkaitinto substrato, esančio ant besisukančio laikiklio, naudojant judančius magnetronus ir plazmos šaltinį. Specifinė būdo ypatybė yra darbinių dujų plazmos, skirtos medžiagai išpurkšti, ir dujų plazmos, skirtos išpurkštai medžiagai oksiduotis ir palaikyti purškiamą medžiagą bendrame vakuuminės proceso kameros tūryje, generavimas. Šiuo atveju išpurkštos medžiagos, skriejančios pro magnetronų ir plazmos šaltinių suformuotus jonizuotus dujų debesis, yra jonizuojamos, įgaudamos papildomos energijos, ir oksiduojamos, įgaudamos reikiamų savybių. Dėl tūrinės oksidacijos ir papildomos energijos nusodintos

medžiagos molekulės sudaro ploną stochiometrinę plėvelę, pasižyminčią mažu porėtumu ir įtempiu išoriniame substrato paviršiuje. Mažą plėvelės įtempį lemia tai, kad ploną plėvelę ant substrato paviršiaus sudaro didesnę energiją turinčios stochiometrinės molekulės. Tai yra pagrindinis patentuojamo daugiasluoksnių plonasluoksnių optinių dangų gamybos būdo skirtumas palyginus su būdu, aprašytu aukščiau minėtuose patentiniuose dokumentuose. Be to, viso vakuuminės proceso kameros tūrio panaudojimas leidžia padidinti atstumą nuo magnetronų iki substratų, o tai savo ruožtu sumažina didelės energijos magnetronų plazmos poveikį substratui ir temperatūros poveikį jam.

Aprašytų įrenginių ir būdo trūkumas yra tas, kad pirmiausia ant substrato turi būti nusodinama tanki tikslinės medžiagos plėvelė, o po to turi būti vykdomas jos oksidacijos procesas. Formuojant oksido sluoksnį ribotoje tankios metalo plėvelės erdvėje išilgai substrato paviršiaus padidėja tūris, todėl ploname sluoksnyje susidaro papildomi mechaniniai įtempiai. Tokios technologinio proceso ypatybės neleidžia nusodinti dangų ant plonų optinių stiklų, puslaidininkinių elementų ir plastikų, kur reikalingos dangos su mažu mechaniniu įtempiu, kad po garinimo proceso būtų išvengta substrato deformacijos.

Patento dokumente EP4163416 yra aprašytas vakuuminis aparatas daugiasluoksnėms optinėms dangoms gaminti. Šiame dokumente aprašyto vakuuminio įrenginio konstrukcija yra artimiausia patentuojamam įrenginiui. Įrenginį sudaro vakuuminė proceso kamera su viduje esančiu standžiu rėmu, substrato tvirtinimo įtaisas – laikiklis, sukonstruotas taip, kad jį būtų galima pasukti aplink centrinę ašį, mažiausiai du magnetronai su taikiniais, kurių darbinių paviršių plokštumos yra lygiagrečios substrato išorinio paviršiaus plokštumai, optinio valdymo sistema su dviem optiniais kanalais, plazmos šaltinis ir substrato šildytuvas. Šiuo atveju centrinė laikiklio ašis sutampa su centrine vakuuminės technologinės kameros ašimi, o magnetronai sumontuoti ant autonominių judėjimo įtaisų, skirtų atstumui nuo taikinio centro iki centrinės technologinės kameros ašies keisti technologinio proceso metu.

EP4163416 aprašyto vakuuminio įrenginio ir daugiasluoksnių plonasluoksnių optinių dangų gamybos būdo trūkumas yra mažas našumas, nes naudojamas vienam substratui skirtas laikiklis, taip pat nepakankamas suformuotų dangų tolygumas ir tankis, reikalingas daugumai tikslų optinių gaminių su daugiasluoksnėmis plonasluoksnėmis dangomis gaminti.

TRUMPAS IŠRADIMO APRAŠYMAS

Šio išradimo tikslas – sukurti pramoninį vakuuminį įrenginį, skirtą tikslioms daugiasluoksnėms interferencinėms dangoms ant optinių substratų gaminti, ir dangų gamybos būdą, kurį naudojant siūlomos konstrukcijos vakuuiniame įrenginyje būtų užtikrintas didelis našumas ir technologinio proceso stabilumas, ir gautos optinės dangos turėtų pasižymėti dideliu homogeniškumu, tankumu, sukibimu, dideliu parametų stabilumu veikiant išorinėms sąlygoms ir turi mažai defektų.

Nustatytas techninis uždavinys sprendžiamas tuo, kad daugiasluoksnių plonasluoksnių tikslųjų optinių dangų gamybos vakuuminis įrenginys turi vakuuminę proceso kamerą, kurios viduje sumontuoti laikikliai substratams tvirtinti, magnetronai su taikiniais, pagamintais iš medžiagų, formuojančių dangas ant išorinio substrato paviršiaus, plazmos šaltiniai, šildytuvai, optinės kontrolės sistema, skirta matuoti pagamintos dangos optiniam storiui. Laikikliai pagaminti taip, kad substratus būtų galima pasukti aplink jų ašį, o kiekvienas iš magnetronų sumontuotas ant judėjimo įtaiso, kuris leidžia magnetronams su taikiniais judėti jų išdėstymo plokštumoje.

Vakuuminio įrenginio unikalumas yra tas, kad jis turi lyginį magnetronų skaičių, todėl vienodų medžiagų taikiniai yra tvirtinami ant dviejų magnetronų, sudarančių magnetroninę purškimo sistemą. Plazmos šaltiniai yra sumontuoti ant šoninių vakuuminės proceso kameros sienelių virš taikinių darbinių paviršių. Laikikliai substratams tvirtinti yra sumontuoti išilgai planetarinio mechanizmo, pagaminto taip, kad būtų galima pasukti substratus aplink savo ašį ir aplink vakuuminės proceso kameros ašį, o substratų laikiklių paviršiai yra vienoje plokštumoje plazmos šaltinių lygyje.

Optinio valdymo sistemą taip pat sudaro optinio valdymo blokas su keičiamais kontroliniais elementais, sumontuotais ant laikiklio, užfiksuoto taip, kad jo nebūtų galima pasukti aplink savo ašį, su galimybe keisti kontrolinių elementų padėtį. Optiniame valdymo bloke yra mažiausiai keturi kontroliniai elementai.

Įrenginyje yra plokštuminiai magnetronai, kurių taikinių darbiniai paviršiai yra virš magnetronų apsauginių elementų paviršių. Įrenginyje taip pat yra cilindriniai magnetronų. Judėjimo įtaisai yra pagaminti taip, kad būtų galima keisti magnetronų pasvirimo kampą pradinės jų padėties plokštumos atžvilgiu.

Įrenginyje yra dvi magnetroninio purškimo sistemos ir du plazmos šaltiniai, sumontuoti ant šoninių vakuuminės proceso kameros sienų viena priešais kitą, viename aukštyje

virš taikinių darbinių paviršių. Darbinių dujų siurbimo iš vakuuminio proceso kameros sistemos elementai yra išdėstyti taip, kad būtų galima nukreipti srautus nuo taikinių darbinių paviršių.

Pagal siūlomą dangos gamybos būdą naudojamas magnetroninio taikinių medžiagų purškimo būdas, naudojant plazmos šaltinius. Padengimo būdas atliekamas vakuuminėje proceso kameroje, kurioje dangos dedamos ant iš anksto įkaitintų substratų, pritvirtintų prie laikiklių, besisukančių aplink savo ašį. Substratai kaitinami intervale nuo 50° iki 300° temperatūros naudojant šildytuvus. Taikomas magnetroninio tikslinių medžiagų garinimo, naudojant plazmos šaltinius, būdas, kai plazma gaminama technologiniais įrenginiais visame vakuuminės technologinės kameros tūryje, tuo pačiu optiniu būdu matuojant optinį dangos storį optinės kontrolės sistema. Pagal duomenis, gautus lyginant išmatuotas vertes su apskaičiuotomis, koreguojama magnetronų padėtis ir technologinio proceso parametrai.

Dangų gamybos būdas skiriasi tuo, kad naudojamos magnetroninio purškimo sistemos, sudarytos iš dviejų magnetronų su vienodais taikiniais ir plazmos šaltinių, esančių virš taikinių darbinių paviršių už magnetronų sukurtos plazmos degimo zonos ribų.

Vienoje plokštumoje ant besisukančių laikiklių pritvirtinti substratai papildomai yra sukami aplink centrinę vakuuminio proceso kameros ašį, užtikrinant jų judėjimą didelio tankio plazmos zonoje pakaitomis per garinimo ir oksidacijos zonas, ir dangos yra gaminamos esant sumažintam slėgiui.

Didelio tankio plazmos srityje substratai į garinimo ir oksidacijos zonas patenka skirtingomis kampinėmis koordinatėmis. Kiekvienai magnetroninio purškimo sistemai padeda keli plazmos šaltiniai.

Siekiant sumažinti taršos susidarymą ant taikinių darbinių paviršių, magnetronai naudojami taip, kad taikinių darbiniai paviršiai būtų aukščiau apsauginių elementų paviršių, taip pat ir siurbimo sistemos elementų vietos. Optinėje valdymo sistemoje naudojami keli kontroliniai elementai, todėl dangos optinė konstrukcija suskirstoma į kelias paprastas konstrukcijas, kurių kiekvieną kontroliuoja atskiras

kontrolinis elementas.

TRUMPAS BRĖŽINIŲ APRAŠYMAS

1 pav. pavaizduotas vakuuminio įrenginio, skirto daugiasluoksnėms plonasluoksnėms tiksliosioms optinėms dangoms gaminti, vakuuminės proceso kameros vidaus tūrinis vaizdas.

2 pav. pavaizduotas planetarinio mechanizmo laikiklis, ant kurio sumontuotas optinio valdymo blokas.

3 pav. pavaizduotas super siaurajuosčio filtro, kurio bangos ilgis 777,4 nm, pralaidumo grafikas.

4 pav. pavaizduotas penkiais technologiniais procesais pagamintų super siaurajuosčių filtrų, kurių bangos ilgis 777,4 nm, pralaidumo grafikai.

DETALUS IŠRADIMO APRAŠYMAS

Daugiasluoksnių plonasluoksnių tikslųjų optinių dangų (1 pav.) gamybos ant substratų 8 įrenginį sudaro vakuuminė proceso kamera 1, kurios viduje sumontuotas planetarinis mechanizmas 10, pagamintas taip, kad technologinio proceso metu substratai 8 vienu metu sukūsi aplink savo centrinę ašį ir aplink vakuuminės proceso kameros 1 centrinę ašį.

Dvigubą substratų 8 sukimosi planetariniame mechanizme 10 funkciją atlieka sukimosi įtaisas 11, kuris perduoda sukimą iš variklio į pagrindą 13. Šiuo atveju planetarinio mechanizmo 10 pagrinde 13 sumontuoti laikikliai 9, skirti substratams 8 fiksuoti vakuuminio proceso kameroje 1 ir turintys galimybę sukis aplink savo centrinę ašį. Laikiklių 9 skaičių ir dydį galima keisti atsižvelgiant į substratų 8 dydį ir jų išorinio paviršiaus padengimo tolygumo reikalavimus. Substratas 8 tvirtinamas laikiklyje 9 taip, kad laikiklio 9 centrinė ašis sutaptų su centrine substrato 8 ašimi, o laikiklių 9 paviršiai, skirti substratams 8 tvirtinti, būtų vienoje plokštumoje su ne didesniu kaip 0,1 mm nuokrypiu.

Substratų 8 matmenys atitinkamai atitinka laikiklių 9 matmenis. Kiti planetarinio mechanizmo 10 parametrai, pavyzdžiui, jo pagrindo 13 matmenys, laikiklių 9

išdėstymas planetarinio mechanizmo 10 pagrinde 13, t. y. substrato centrų sukimosi aplink centrinę vakuuminio proceso kameros 1 ašį skersmuo D, apskaičiuojami atsižvelgiant į technologinių įrenginių tarpusavio išdėstymą vakuuminio proceso kameroje 1, kad būtų gautas reikiamas dangų homogeniškumas ir tankumas.

Plonasluoksnių dangų, pagamintų ant visų planetarinio mechanizmo 10 pritvirtintų substratų 8, tolygumas taip pat priklauso nuo to, ar teisingai parinktas planetarinio

mechanizmo 10 sukimosi greitis aplink centrinę ašį, sutampančią su centrine vakuuminio proceso kameros ašimi, ir nuo laikiklių 9 su substratais 8 sukimosi greičio dangos padengimo proceso metu. Kiekvieno atskiro laikiklio 9 sukimosi greitis nustatomas parenkant planetarinio mechanizmo 10 pagrindo 13 pavarų perdavimo skaičių. Pavarų santykis parenkamas taip, kad kiekvienas substratas 8 į garinimo ir oksidacijos zonas patektų skirtingomis kampinėmis koordinatėmis, kad būtų išvengta pasikartojančių judesių, kurie gali pakenkti pagamintų dangų optinio storio tolygumui. Be planetarinio mechanizmo 10 vakuuminės proceso kameros 1 viduje sumontuotas lyginis – magnetronų 2 skaičius su taikiniais 3, kurių darbinuose paviršiuose vyksta dangų medžiagų garinimo procesas. Magnetronai 2 poromis dalyvauja daugiasluoksnių plonasluoksnių optinių dangų gamybos technologiniame procese. Kiekvienoje magnetronų 2 poroje įrengti tų pačių medžiagų taikiniai 3, atitinkamai kiekviena magnetronų 2 pora dengia tam tikros sudėties plonos plėvelės sluoksnius. Vienu metu veikiančių magnetronų 2 pora sudaro magnetroninio purškimo sistemą. Magnetroninio purškimo sistema veikia naudojant kintamosios srovės maitinimo šaltinius. Kiekvienu laiko momentu vienas iš magnetroninio purškimo sistemos taikinių

3 yra teigiamo potencialo, o antrasis – neigiamo potencialo, ir atvirkščiai. Taigi, kiekvienu laiko momentu tam tikru dažniu iš vieno taikinio 3 išpurškiama medžiaga, o nuo antrojo taikinio 3 darbinio paviršiaus pašalinamas susikaupęs krūvis. Tai leidžia gerokai sumažinti išlinkimo susidarymą taikinių paviršiuje, o tai savo ruožtu pagerina purškiamų dangų kokybę.

Laikikliai 9, skirti įtvirtinti substratus 8 vakuuminėje proceso kameroje 1, yra sumontuoti pagrinde 13 taip, kad dangai dengti atvirų substratų 8 išorinis paviršius būtų orientuotas į plokštumą, lygiagrečią magnetronų 2 išdėstymo plokštumai.

Kiekvieno plonos plėvelės sluoksnio storio tolygumas ant substratų 8 gamybos metu kinta dėl taikinio 3 sunaudojamos medžiagos, jo erozijos ir kintančios darbinio paviršiaus geometrijos. Siekiant pagerinti gaminamų dangos sluoksnių tolygumą, kiekvienas magnetronas 2 yra sumontuotas ant judėjimo įtaiso 4, kurio pagalba magnetronas juda jo padėties plokštumoje. Šiuo atveju visi judėjimo įtaisai 4 yra autonomiški, t. y. kiekvieną magnetroną jo judėjimo įtaisas 4 gali paslinkti iš anksto nustatytu atstumu tiek prieš pradėdant veikti magnetronui 2, tiek jam veikiant. Kadangi kiekvienas magnetroninio purškimo sistemos magnetronas 2 turi savo autonominį judėjimo įtaisą 4, jį galima paslinkti tokiu atstumu, kuris nesutampa su kito magnetroninio purškimo sistemos magnetrono paslinkimo atstumu. Be to, kad būtų

galima keisti magnetronų 2 padėčių plokštumoje, judėjimo įtaisų 4 konstrukcija leidžia keisti magnetronų 2 pasvirimo kampą pradinės jų padėties plokštumos atžvilgiu, o kartu su jais ir taikinių 3, kad būtų užtikrintas didžiausias garinimo efektyvumas.

Aprašytame vakuuminiame įrenginyje yra naudojami plokštuminiai magnetronai, kuriuos sudaro aušinamas korpusas su viduje esančia magnetine sistema. Taikiny 3 yra pritvirtintas prie korpuso ir spaudžiamuoju žiedu prispaustas prie magnetinės sistemos. Visi korpuso ir prispaudimo žiedo paviršiai padengti apsauginiais elementais, kad būtų išvengta parazitinio (netinkamo) išpurškimo. Įrengiant vakuuminio įrenginio plokštuminius magnetronus 2, taikiny 3 montuojamas taip, kad jo darbinis paviršius būtų virš visų apsauginių elementų paviršių. Toks taikinio 3 išdėstymas leidžia sumažinti apsauginių elementų užpurškimą aplink taikinį 3, todėl ant jo darbinio paviršiaus nesusidaro šiukšlių ir išvengiama elektrinių gedimų, turinčių įtakos gaunamų dangų kokybei.

Be plokštuminių magnetronų, vakuuminiame įrenginyje yra naudojami cilindriniai magnetronai, kurių taikiniai yra pagaminti cilindro formos ir gali sukurti aplink savo ašį. Cilindriniai magnetronai leidžia sumažinti užpurkštų sluoksnių defektus dėl nuolatinio taikinio sukimosi. Šis judėjimas nuolat keičia purškiamo taikinio darbinį paviršių ir sumažina užpurškiamo paviršiaus plotą tam tikru momentu, taip sumažindamas taikinio darbinio paviršiaus oksidaciją ir tikimybę, kad ant jo susikaups šiukšlių. Tokios savybės sumažina elektrinio suirimo ir atitinkamai gaminamos dangos defektų susidarymo tikimybę, o procesą stabilizuoja tolygesnis taikinio medžiagos susidarymas. Be to, cilindrinio magnetrono konstrukcija leidžia padidinti taikinio tūrį, esant tiems patiems gabaritams kaip ir plokštuminio magnetrono, nes taikinio forma

yra cilindrinė, arba sumažinti magnetrono gabaritus, esant tam pačiam taikinio medžiagų kiekiui. Dėl to optinio purškimo proceso technologinė schema tampa lankstesnė, nes dideli plokštuminių magnetronų su plokščiais taikiniais gabaritiniai matmenys riboja magnetronų 2 išsidėstymo vakuuminėje proceso kameroje 1 galimybę vienas kito atžvilgiu ir planetarinio mechanizmo 10 gabaritinių matmenų atžvilgiu.

Vakuuminėje proceso kameroje 1 yra įtaisai, skirti taikinių 3 darbiniam paviršiams apsaugoti, kuriuos sudaro judėjimo mechanizmas 6, užtikrinantis ekrano 5 judėjimą virš taikinių 3 darbinio paviršius. Vykdamas technologinį procesą, ekranai 5 uždengia taikinių 3 darbinio paviršius vienoje iš magnetroninio purškimo sistemų, todėl galima paleisti ir stabilizuoti po ekranais esančius purškimo įtaisus ir apsaugoti taikinių 3

darbinio paviršius nuo užpurškimo, veikiant kitoms magnetroninio purškimo sistemoms. Viename judėjimo mechanizme 6 galima turėti kelis ekranus 5, skirtus kiekvienam magnetronų purškimo sistemos magnetronui. Savo ruožtu judėjimo mechanizmas 6 gali būti pagamintas taikant įvairius ekrano 5 poslinkio principus, pavyzdžiui, sukimo, šlyties, grįžtamojo judėjimo ir pan.

Siekiant užtikrinti didelį dangos gamybos proceso efektyvumą ir pagerinti jos kokybę, naudojami su indukcija susieti plazmą generuojantys įrenginiai, plazmos šaltiniai 7. Pateiktame vakuuminiame įrenginyje plazmos šaltiniai 7 įrengti ant šoninių vakuuminės proceso kameros 1 sienelių, viename aukštyje su išpurškiamų taikinių 3 darbiniais paviršiais, už magnetronų 2 gaminamos plazmos degimo zonos ribų. Vakuuminio įrenginio konstrukcija užtikrina substratų 8 sukimą aplink centrinę vakuuminio proceso kameros 1 ašį, kai substratai pakaitomis skrieja virš taikinių 3 darbinio paviršius ir šalia plazmos šaltinių 7. Taigi, plazmos šaltiniai 7 ir substratai 8, besisukantys ant laikiklių 9 planetariniame mechanizme 10 plazmos šaltinių 7 lygyje, technologinio proceso metu yra kuo arčiau vienas kito didžiausio veiksmingo poveikio zonoje daugiasluoksnio plonos plėvelės tikslųjų dangų gamybos procese.

Plazmos šaltinių 7 naudojimas patentuotame įrenginyje turi įtakos pagamintų dangų kokybei ir jų augimo greičiui. Į magnetroninio išlydžio plazmos degimo zoną įsvirkštos plazmos šaltinio 7 įkrautos dalelės veikia magnetroninę plazmą ir taikinį 3. Dėl to galima sumažinti technologinio proceso darbinį slėgį ir taip pagerinti optinių dangų kokybę, padidinant išpurkštų medžiagos dalelių laisvojo kelio atstumą. Be to,

plazmoje padidėja jonizuotų būsenu tankis (jonų tankis), o purškimo procesą palaiko jonai iš dviejų nepriklausomų šaltinių – savojo magnetroninio išlydžio ir išorinio plazmos pluošto. Be to, plazmos šaltinio 7 generuojamas plazmos dalelių pluoštas, įsvirkščiamas į magnetroninio išlydžio plazmos degimo zoną, leidžia padidinti pasipriešinimą dielektrinės plėvelės susidarymui ant taikinio 3 darbinio paviršiaus. O tai, savo ruožtu, leidžia gerokai padidinti dangų dengimo greitį ir sumažinti išplinkimo susidarymo tikimybę taikinio 3 paviršiuje, taip pagerinant ant substratų 8 nusodinamų plonų plėvelių kokybę.

Vakuuminėje proceso kameroje 1 yra proceso dujų siurbimo sistemos išėjimai. Sistemos elementai išdėstyti taip, kad būtų atskirti technologinių dujų srautai, siekiant sumažinti į plazmos šaltinius 7 tiekiamų technologinių dujų įtaką magnetroninio purškimo sistemų veikimui. Šiuo tikslu siurbimo sistemos elementai yra už substratų 8, kad siurbiamų technologinių dujų srautas būtų nukreiptas priešinga kryptimi nei taikinių

3 darbiniai paviršiai. Sumažinus teršalų ir cheminių reakcijų produktų susidarymą ant taikinių 3 darbinų paviršių, pagerėja magnetronų 2 funkcinės charakteristikos, išplečiant magnetroninio išlydžio plazmos egzistavimo sritį, o tai padeda pasiekti aukštos kokybės ir padengtų dangų fizikinių savybių stabilumą kiekviename cikle ir sutrumpina technologinio ciklo laiką.

Siekiant užtikrinti pagamintos plonasluoksnės dangos tolygumą, vakuuiniame įrenginyje palaikomi atitinkami matmenų parametrai (toliau – X ir Y). Atstumas X – tai atstumas nuo laikiklių 9, skirtų substratams 8 tvirtinti, paviršiaus iki taikinių 3 darbinų paviršių. Atstumas X išlieka nepakitęs viso technologinio proceso metu ir gali būti keičiamas perjungiant vakuuminį įrenginį arba laikotarpiu tarp procesų, keičiant planetarinio mechanizmo 10 padėtį arba pakeičiant jį kita modifikacija. Atstumas Y yra atstumas nuo vakuuminės proceso kameros 1 centrinės ašies iki magnetronų 2 taikinių 3 darbinų paviršių centrų. Atstumai X ir Y parenkami pagal magnetronų 3 ir plazmos šaltinių 7 išsidėstymą taip, kad, atsižvelgiant į substratų 8 centrų sukimąsi aplink centrinę vakuuminio proceso kameros 1 ašį, būtų pasiektas itin didelis daugiasluoksnių interferencinių dangų gamybos vakuuiniame įrenginyje tolygumo tikslumas.

Kaip minėta pirmiau, užpurkštų plonų plėvelių optinis storis lemia dangos optines savybes. Vakuuiniame įrenginyje vykstant technologiniam garinimo procesui nuolat stebimas dangos optinis storis ją dengiant ant pagrindo, vadinamoji end-to-end

kontrolė, atsižvelgiant į dangos optinių savybių pokyčius garinimo metu.

Dangos optinio storio stebėjimas "nuo galo iki galo" gali būti atliekamas tiesiogiai ant substrato 8. Šiuo atveju naudojama automatinė optinės kontrolės sistema, o optinio signalo matavimai atliekami kiekvieno planetarinio mechanizmo 10 apsisukimo metu substrato 8 centre. Pageidautinas optinės kontrolės sistemos variantas yra optinis kontrolės blokas 14, kuris yra keičiamų kontrolinių elementų 15 rinkinys, sumontuotas ne ant substrato 8, o ant vieno iš laikiklių 9, naudojimas. Viename optiniame kontrolės bloke 14 yra ne mažiau kaip keturi kontroliniai elementai 15.

Kontroliuojant dangos optines charakteristikas ant kontrolinio elemento 15, matavimai atliekami kontrolinio elemento 15 centre, kuris, kaip ir substratas 8, yra laikiklio 9 centre. Taip sumažinamas dangos, užpurkštos ant kontrolinio elemento 15 ir ant substrato 8, optinio storio skirtumas.

Naudojant kelis kontrolinius elementus 15, galima padidinti bendrą purškiamų sluoksnių skaičių nedidinant bendros purškimo paklaidos, kaip tai daroma naudojant vieną kontrolinį elementą.

Norint atlikti matavimus prieš pradedant technologinį procesą, blokuojamas laikiklio 9 sukimasis aplink centrinę ašį, ant kurio paviršiaus yra uždėtas tiriamasis substratas 8 arba sumontuotas optinis kontrolės blokas 14 su kontroliniais elementais 15. Optinis kontrolės blokas 14 pagamintas taip, kad būtų galima keisti kontrolinių elementų 15 padėtį laikiklio 9 paviršiuje, todėl kontrolinį elementą, ant kurio atliekami matavimai, galima pastatyti į laikiklio 9 paviršiaus centrą, o technologinio proceso metu jį pakeisti kitu.

Technologinio proceso terminiam stabilizavimui, įskaitant substratų 8 kaitinimą, vakuuminėje technologinėje kameroje 1 įrengti šildytuvai 12. Aprašytame vakuuminiame įrenginyje šildytuvai 12 sumontuoti vakuuminės kameros 1 dugne ir nukreipti į substratus 8, kad būtų šildomi jų išoriniai paviršiai.

Pirmiau aprašytas daugiasluoksnių plonasluoksnių tikslųjų optinių dangų gamybos vakuuminiame įrenginyje būdas detalai yra aprašytas žemiau.

Vakuuminėje proceso kameroje 1 yra reguliuojamas planetarinio mechanizmo 10 laikiklių 9 aukštis X virš taikinių 3 darbinių paviršių. Atstumas X, nustatytas skaičiavimais atsižvelgiant į visus technologinio proceso parametrus (technologinės

kameros dydį, substratų dydį, garinimo procese dalyvaujančių technologinių įtaisų veikimo charakteristikas ir t. t.), vieno technologinio proceso metu išlaikomas pastovus, kad būtų pasiektas maksimalus kiekvieno gaminamos dangos sluoksnio vienodumas. Atstumas Y, taip pat apskaičiuotas prieš pradedant technologinį procesą kiekvienam magnetronui 2 atskirai, atsižvelgiant į reikiamą vienodumą, gali būti pakartotinai keičiamas vieno technologinio proceso metu, tačiau išlaikomas tam tikrame apskaičiuotame intervale.

Substratai 8 tvirtinami planetarinio mechanizmo 10 laikikliuose 9. Optinio kontrolės bloko 14 testavimo elementai 15 pritvirtinami prie užfiksuoto laikiklio, kuris technologinio proceso metu nesisuka, po to uždaromos sandarios vakuuminės technologinės kameros 1 durys.

Naudojant žemo ir aukšto vakuumo siurbimo sistemas, vakuuminė technologinė kamera 1 perpumpuojama iki technologinio proceso pradžiai nustatyto slėgio. Pasiekus reikiamą slėgį arba siurbimo proceso metu įjungiami šildytuvai 12, kurie įkaitina substratus 8 iš išorinio paviršiaus pusės iki nustatytos temperatūros. Įjungiami plazmos šaltiniai 7 ir pervedami į darbinį režimą.

Prieš pradedant dengimo procesą, plazmos šaltiniai 7 valo išorinį substratų 8 paviršių. Valymo operacijos metu veikia planetarinio mechanizmo 10 sukimosi įtaisas 11,

substratai 8 sukasi aplink vakuuminio proceso kameros 1 perimetrą 5–60 apsisukimų per minutę greičiu, tuo pačiu metu sukdamiesi apie savo ašį. Valymo proceso metu pirmosios magnetroninio purškimo sistemos taikinių 3 darbinis paviršius uždengiamas ekranu 5. Pirmoji magnetroninio purškimo sistema – tai pora magnetronų, kurie pirmieji proceso grandinėje atliks plono sluoksnio nusodinimo procesą. Magnetronai 2, kurių taikinių 3 darbinis paviršius dengia ekranas 5, įjungiami, kad darbiniai paviršiai būtų nuvalyti nuo oksido plėvelės.

Atlikus parengiamąsias procedūras, vakuuminis įrenginys yra paruoštas dangos gamybos procesui.

Pirmasis daugiasluoksnės tiksliosios optinės dangos plonas sluoksnis ant išorinio substrato 8 paviršiaus yra uždedamas, kai dirba abu pirmosios magnetroninio purškimo sistemos magnetronai 2 ir darbiniai plazmos šaltiniai 7, veikiantys darbinių magnetronų 2 taikinių ir substrato 8 darbinius paviršius. Norint pradėti technologinį

procesą, darbinės magnetroninio purškimo sistemos taikinių 3 darbinis paviršius atidaromas paslinkus ekranus 5 judėjimo mechanizmais 6. Pagal technologinį procesą, technologinėje kameroje 1 magnetronams 2 ir plazmos šaltiniams 7 tiekiamos darbinės technologinės dujos ir tam tikro dydžio bei dažnio elektros energija.

Tuo pat metu, kai pradamas pirmojo plono sluoksnio gamybos procesas, įjungiami antroji magnetroninio purškimo sistema. Tuo metu jos taikinių 3 darbinį paviršių uždengia judėjimo mechanizmo 6 pagalba pasislinkęs ekranas 5, po kuriuo taikiniai 3 "nupurškiami", taip paruošiant jų darbinį paviršių technologiniam procesui.

Dėl ypatingos erdvinės purškiamos medžiagos šaltinių – magnetronų 2 ir oksidatorių – plazmos šaltinių 7 sklaidos, kurią užtikrina vakuuminio įrenginio konstrukcija, ir suprojektuoto mažiausio atstumo nuo substratų 8 iki plazmos šaltinių 7, naudojant planetarinį mechanizmą 10, substratai 8 patenka į skirtingas didelio tankio jonizuotos plazmos sritis. Kiekvieno substrato 8 apsisukimo aplink centrinę vakuuminio proceso kameros 1 ašį metu substratas tam tikrą laiką būna magnetroninio purškimo sistemos didelio tankio plazmos zonoje (purškimo zonoje), kurioje ant substrato 8 paviršiaus nusodinama iš dalies oksiduota taikinio 3 medžiaga, ir plazmos šaltinių 7 generuojamų reaktyviųjų dujų didelio tankio plazmos zonoje (oksidacijos zonoje), kurioje ant substrato 8 paviršiaus nusodintas sluoksnis iš anksto oksiduojamas. Taip užtikrinama kokybiška išpurkštos medžiagos oksidacija, todėl padidėja išpurkštų dangų tankis. Padidinus dangų tankį, sumažėja vandens garų absorbcijos į dangą tikimybė, todėl pagerėja optinių ir mechaninių parametrų stabilumas veikiant išorinėms sąlygoms.

Sumažinus atstumą nuo substratų 8 iki plazmos šaltinių 7, galima sumažinti deguonies slėgį proceso kameroje 1, todėl sumažėja taikinio 3 paviršiaus oksidacijos tikimybė ir išsilenkimo tikimybė, todėl sumažėja pagamintos dangos defektų skaičius.

Pagamintos dangos kokybei taip pat turi įtakos išpurškiamų taikinių 3 darbinių paviršių išdėstymas plokštuminiuose magnetronuose, kurie įrengti virš apsauginių elementų paviršių. Taip sumažinamas apsauginių elementų dulketumas aplink taikinių 3, užkertamas kelias nešvarumų susidarymui ant jo darbinio paviršiaus ir taip išvengiama elektrinių gedimų, turinčių įtakos gaunamų dangų kokybei.

Apskaičiuotos nusodintos dangos optinių charakteristikų reikšmių pasiekimas užtikrinamas naudojant pagamintų plonų sluoksnių optinio storio kontrolės sistemą.

Siūlomame vakuuminiam įrenginyje įrengta automatinė dangos optinio storio kontrolės sistema, kuri yra tiesiogiai ant substrato 8 arba ant optinio kontrolės bloko 14 kontrolinių elementų 15. Gaminant dangą, optinis storis kontroliuojamas nuo galo iki galo besisukančio substrato 8 centre arba kontrolinio elemento 15 centre. Jeigu gaminamos paprastos interferencinės dangos, pakanka kontroliuoti besisukančio substrato 8 centre. Šiuo atveju substratams 8 tvirtinti naudojami visi planetarinio mechanizmo 10 laikikliai 9. Sudėtingesnėms optinėms dangoms gaminti naudojamas optinis kontrolės blokas 14 su kontroliniais elementais 15. Šiuo atveju prieš pradėdant technologinį procesą vienas iš laikiklių 9 nenaudojamas substratui 8 tvirtinti, jis yra fiksuojamas, išskyrus sukimąsi aplink centrinę laikiklio ašį, ir ant jo sumontuojamas optinis kontrolės blokas 14 su kontroliniais elementais 15, kuriais kontroliuojamas optinis dangos storis.

Optinio storio kontrolei naudojamas monochromatinės fotometrijos būdas. Taikant šį būdą registruojami pralaidumo maksimumai ir minimumai, atsirandantys dėl interferencinių reiškinių uždedamoje optinėje dangoje praleidžiant šviesą. Optinis signalas matuojamas kiekvienam planetarinio mechanizmo 10 apsisukimui aplink centrinę vakuuminės proceso kameros 1 ašį.

Siekiant sumažinti bendrą purškimo paklaidą, interferencinės dangos, sudarytos iš daugiau kaip šimto plonų sluoksnių, optinis vaizdas yra suskirstytas į keletą supaprastintų vaizdų. Šiuo tikslu bendrajame dangos gamybos procese nurodomas tam tikras sluoksnių skaičius kiekvienam iš galimų kontrolinių elementų. Be to, vykstant technologiniam procesui, optinės kontrolės sistemos veikimo programa duoda signalą optiniam kontrolės blokui 14, kad pasiekus iš anksto nustatytą sluoksnių skaičių pagal gamybos procesą, būtų pereita prie neužgarinto kontrolinio elemento 15.

Kuo daugiau kontrolinių elementų 15 bus naudojama proceso metu, tuo mažesnė bus bendra purškimo paklaida. Be to, naudojant kelis kontrolinius elementus 15 galima supaprastinti sudėtingų, nevienodo storio dangų purškimo kontrolę, išskaidant bendrą dangos konstrukciją į keletą paprastesnių konstrukcijų, kurių kiekviena bus kontroliuojama atskirai pasirinktu kontroliniu elementu 15.

Jei išmatuotos optinės charakteristikos nesutampa su apskaičiuotomis charakteristikomis, priklausomai nuo nesutapimo dydžio, optinio valdymo sistema siunčia atitinkamą signalą į vakuuminio įrenginio valdiklį, kad būtų pakeisti naudojamos technologinės įrangos darbo parametrai, įskaitant magnetronų 2 judėjimą. Optinės

kontrolės sistema toliau nuskaito gautus signalus, juos apdoroja ir lygina su apskaičiuotomis charakteristikomis, kol pasiekiami nustatyti parametrai, po to optinės kontrolės sistema generuoja signalą sustabdyti pirmojo plono sluoksnio gamybą. Gavus atitinkamą signalą iš optinės kontrolės sistemos, plono sluoksnio gamyba sustabdoma, išjungiant pirmąją magnetroninio purškimo sistemą. Kitas plonas dangos sluoksnis dengiamas tokiu pat būdu, naudojant antrąją magnetroninio purškimo sistemą su anksčiau įjungtais plazmos šaltiniais 7, kol iš optinės kontrolės sistemos gaunama komanda apie jos parengtį.

Keičiant magnetroninio purškimo sistemas su taikiniais 3, pagamintais iš reikiamų medžiagų, naudojant skirtingus plazmos šaltinių 7 veikimo režimus, gaunama nustatytų savybių daugiasluoksnė optinė danga.

Galima išskirti keletą pirmiau aprašyto technologinio proceso bruožų.

Gaminant dangas, magnetronai 2 veikia poromis kaip magnetroninio purškimo sistemų dalis, o kiekvienai sistemai padeda vienas ar daugiau plazmos šaltinių 7, esančių virš taikinių 3 darbinų paviršių. Tai leidžia gerokai sumažinti oksidaciją ir išsilenkimo susidarymą ant taikinio 3 darbinio paviršiaus, o tai savo ruožtu sumažina defektų ant gaminamų dangų atsiradimą. Tuo pat metu plazmos šaltiniai 7 ir magnetronai 2 veiksmingai jonizuoja darbinės dujas, taip pat išpurkštos medžiagos atomų frakciją, todėl vakuuminėje proceso kameroje 1 susidaro didelio tankio plazmos sritis.

Gaminant dangą substratai 8 sukasi aplink centrinę vakuuminio proceso kameros 1 ašį, pakaitomis skriedami virš taikinių 3 darbinio paviršiaus ir šalia deguonies plazmos šaltinių 7. Dėl ypatingos erdvinės purškiamos medžiagos sklaidos ir atitinkamo substratų 8 judėjimo proceso kameroje 1 užtikrinamas didelis pagamintų dangų tankis ir aukštos kokybės oksidacija. Didelis dangų tankis sumažina elektromagnetinės spinduliuotės optinę sklaidą, kuri ypač svarbi interferencinėms dangoms, kurių bendras

storis yra didelis (daugiau kaip 30 mikronų), taip pat vandens garų absorbcijos plėvelėje tikimybę, o tai pagerina dangos optinių ir mechaninių parametrų stabilumą veikiant išorinėms sąlygoms.

Kadangi substratai 8 pakaitomis skrieja virš magnetronų 2 ir netoli deguonies plazmos šaltinių 7, proceso kameroje 1 sumažėja deguonies koncentracija, reikalinga

ant substrato judant virš magnetrono 2 susidariusiai išpurkštos medžiagos plėvelei oksiduoti. Sumažinus deguonies koncentraciją proceso kameroje 1, sumažėja ir taikinių 3 darbinių paviršių oksidacijos tikimybė, o tai savo ruožtu sumažina taikinių gedimų ir pagamintos dangos defektų tikimybę.

Dėl dvigubo substratų 8 sukimosi (aplink savo ašį ir aplink centrinę vakuuminio apdorojimo kameros ašį) ir jų patekimo į garinimo ir oksidacijos zonas skirtingomis kampinėmis koordinatėmis, pasiekiamas didesnis nei 0,2 % optinio storio tolygumas tiek atskirai kiekvienam substratui, tiek visame visų substratų 8 plote.

Naudojamų plokštuminių magnetronų konstrukcija, t. y. taikinio 3 darbinis paviršius yra aukščiau magnetrono 2 apsauginių elementų paviršių, sumažina taikinio 3 užterštumą plėvelės dalelėmis, krintančiomis nuo apsauginių elementų, todėl ant taikinio 3 darbinių paviršių susidaro mažiau išsilenkimų, o kartu ir pagamintų dangų defektų.

Toliau aprašomas itin siaurajuosčio interferencinio filtro, skirto 777,4 nm bangos ilgiui ir skirto optiniam pereinamųjų procesų detektoriumi, gamyba. Plonasluoksniai kintantys optiniai filtro sluoksniai pagaminti iš tantalio oksido – Ta_2O_5 ir silicio oksido – SiO_2 , naudojant magnetroninio purškimo sistemose naudojamus taikinius, pagamintus atitinkamai iš Ta ir Si medžiagų. Dangą sudaro 163 plonasluoksniai sluoksniai. Sudėtinga dangos konstrukcija išskaidoma į keturias paprastesnes konstrukcijas, todėl optiniame kontrolės bloke 14 naudojami keturi kontroliniai elementai 15. Vidutinis Ta_2O_5 ir SiO_2 sluoksnių storis yra atitinkamai 100 ir 150 nm, o bendras dangos storis – 18 μm .

Filtro gamybai naudojamas vakuuminis įrenginys (1 pav.), kurį sudaro vakuuminė proceso kamera 1, kurios viduje sumontuoti: planetarinis mechanizmas 10 su dešimčia laikiklių 9 apvaliems 200 mm skersmens substratams 8, keturi plokštuminiai magnetronai 2, turintys 200 mm skersmens apvalius taikinius 3, du indukcinės plazmos šaltiniai 7 ir du infraraudonųjų spindulių šildytuvai 12.

Kiekvienas magnetronas 2 yra sumontuotas ant autonominio judėjimo įtaiso 4, kuris yra suprojektuotas kaip tiesinio judėjimo pavara. Ant dviejų magnetronų 2 sumontuoti tantalio taikiniai 3 – pirmoji yra magnetroninio purškimo sistema, kiti du magnetronai su

silicio taikiniais sudaro antrąją magnetroninio purškimo sistemą. Siekiant

sumažinti defektų susidarymą dangoje, naudojami plokštuminiai magnetronai, kurių apsauginių elementų paviršiai yra žemiau taikinių 3 darbinių paviršių.

Du plazmos šaltiniai 7 yra viename aukštyje virš magnetroninių taikinių 3 darbinių paviršių, ant šoninių vakuuminės kameros 1 sienelių viena priešais kitą taip, kad plazmos šaltinių 7 generuojami plazmos spinduliai patektų į magnetroninės plazmos degimo zonas.

Substrato 8 centrų sukimosi aplink centrinę vakuuminio proceso kameros 1 ašį skersmuo D yra 720 mm. Jis parenkamas atsižvelgiant į vakuuminės technologinės kameros 1 dydį, magnetronų 2 ir plazmos šaltinių 7 išdėstymą, atsižvelgiant į tai, kad technologinio proceso metu substratai 8 sukūsi kuo arčiau plazmos šaltinių 7, kad būtų galima veiksmingai valdyti dangos gamybos procesą.

Optinio stiklo substratai 8 tvirtinami ant planetarinio mechanizmo 10 laikiklių 9 paviršiaus, apskaičiuotame aukštyje $X=210$ mm virš taikinių 3 darbinių paviršių. Substratai 8 tvirtinami taip, kad jų centrinės ašys sutaptų su laikiklių 9 centrinėmis ašimis, o išorinis substratų paviršius būtų lygiagretus magnetronų 2 plokščiųjų taikinių

3 darbiniam paviršiui. Technologinio proceso metu judėjimo įtaisai 4 leidžia magnetronus 2 judinti, išlaikant taikinių 3 darbinio paviršiaus plokštumą. Pradinė magnetronų 2 padėtis nuo vakuuminės technologinės kameros centro ašies yra $Y=200$

mm. Ant stacionaraus laikiklio 9 sumontuojamas optinis kontrolės blokas 14 su keturiais kontroliniais elementais 15.

Naudojant žemo ir aukšto vakuumines siurbimo sistemas, vakuuminė proceso kamera 1 išsiurbama iki nustatyto $1e-2$ Pa slėgio. Išsiurbimo metu įjungiamas planetarinio mechanizmo 10 sukimasis ir nustatomas penkiasdešimties apsisukimų per minutę greitis. Sukimosi įtaisas 11 lieka įjungtas viso technologinio proceso metu, kol atidaroma technologinė kamera 1. Pradėjus sukūti planetariniam mechanizmui 10, įjungiami vakuuminės proceso kameros 1 dugne įrengti šildytuvai 12, nukreipti į išorinį substratų 8 paviršių. Substratai 8 įkaitinami iki 150° C temperatūros. Kartu su kaitinimu proceso kameroje 1 slėgis sumažinamas iki $8e-4$ Pa.

Prieš pradėdant tiksliosios optinės dangos gamybos procesą, substrato 8 išorinis paviršius valomas indukcinio išlydžio plazma, naudojant abu plazmos šaltinius 7, kad būtų pašalintos molekulinės dalelės, adsorbuotos dujos, polimerų fragmentai, vandens garai, taip pat kad būtų atominiu būdu aktyvuoti substrato 8 išorinio paviršiaus

paviršiniai ryšiai, siekiant pagerinti uždėto sluoksnio sukibimą. Šiuo tikslu per plazmos

šaltinius 7 į vakuuminio apdorojimo kamerą 1 tiekiamas deguonis, slėgis sumažinamas iki 0,03–0,05 Pa ir įjungiami plazmos šaltiniai 7. Apdorojimas tęsiasi ne trumpiau kaip penkias minutes. Deguonies slėgis kameroje palaikomas srauto matuokliais.

Valant substratus 8, pirmosios magnetroninio purškimo sistemos su tantalo taikiniais taikinių 3 darbinį paviršių uždengia ekranas 5. Magnetronai 2, kurių taikinių 3 darbinis paviršius dengia ekranas 5, įjungiami, kad darbiniai paviršiai būtų išvalyti nuo oksido plėvelės. Tam į magnetronus 2 į taikinių 3 paviršius tiekiamos argono dujos, slėgis kameroje pasiekia 0,07 Pa. Magnetronai 2 įjungiami 1 kW galia ir penkias minutes valomi darbiniai taikinių 3 paviršiai.

Išvalius substratus 8, plazmos šaltiniai 7 toliau veikia deguonies terpėje. Tuo pat metu dėl ypatingo reaktyviųjų dujų įleidimo vietų, plazmos šaltinių 7 RF elektrodų ir siurbimo sistemos elementų tarpusavio išsidėstymo plazmos šaltiniai 7 vakuuminėje proceso kameroje 1 sukuria oksidanto koncentracijos ir jo reaktyvumo gradientus, nukreiptus iš siurbimo angų į plazmos šaltinius 7.

Dirbant po apsauginiu ekranu 5, magnetronams 2 galia padidinama iki 2–5 kW. Penkiolika sekundžių stabilizavus režimus, perstumiamas apsauginis ekranas 5, atveriami darbiniai taikinių 3 paviršiai, veikia magnetronų purškimo sistema ir purškiamas pirmasis plonasluoksnės dangos sluoksnis.

Plono sluoksnio susidarymas vyksta taip: iš dalies oksiduotus substratų 8 darbinis paviršius bombarduoja magnetroninio išlydžio plazmos jonai, išmušdami taikinio medžiagos atomus ir jų molekulinis junginius su reaktyviųjų dujų dalelėmis. Per vieną substratų 8 skrydį virš veikiančių magnetronų 2 (garinimo zonoje) ant jų priekinio paviršiaus susidaro maždaug 5 angstromų storio iš dalies oksiduota plėvelė. Kiekvienas atskiras substratas 8 po skrydžio per garinimo zoną per ~300 ir ~900 ms praskrenda pro pirmąją ir antrąją didelio tankio reaktyviųjų dujų plazmos sritis (oksidacijos zonas), kurias sukuria plazmos šaltiniai 7, kur plonasis sluoksnis yra visiškai iš anksto oksiduotas. Aprašytoje sistemoje taikinio 3 medžiagos atomų, sudarančių plonos plėvelės sluoksnį ant išorinio substrato 8 paviršiaus, oksidacijos reakcijos pusiausvyra gali pereiti tarp oksidacijos taikinio 3 paviršiuje ir oksidacijos substrato 8 paviršiuje, keičiantis deguonies suvartojimui. Taigi, realizuotas

plonasluoksnių dangų gamybos būdas aprašytos konstrukcijos vakuuminiam įrenginyje leidžia sumažinti deguonies koncentraciją vakuuminėje technologinėje kameroje 1, būtiną visiškam suformuotos dangos oksidavimui, ir dirbti esant mažiau

oksiduotiems taikinio paviršiams, taigi sumažinti išlinkimo susidarymą ant taikinio 3 darbinio paviršiaus ir pagamintos dangos defektų tikimybę.

Purškiant plonos plėvelės sluoksnį, magnetroninio purškimo sistemos magnetronų galia ir argono srauto greitis nekeičiami. Magnetroninio purškimo sistemos maitinimo blokas valdo plazmos šaltinių 7 deguonies srautus, kad būtų palaikoma nustatyta magnetronų 2 įtampa, keičiant deguonies srautą aukštyn arba žemyn. Tai būtina siekiant užtikrinti, kad technologinio proceso metu išpurškiamų taikinių 3 darbinis paviršius būtų stabilios būklės, užtikrinantis pastovų išpurškiamos medžiagos pluošto profilį, išpurškimo greitį ir minimalų išlinkimo susidarymą.

Optinio valdymo sistema kontroliuoja kiekvieno plono sluoksnio optinį storį pagal optinio kontrolės bloko 14 kontrolinius elementus 15. Optinis signalas matuojamas kiekvieno planetarinio mechanizmo 10 apsisukimo metu ties kontrolinių elementų 15, pritvirtintų stacionariame laikiklyje 9, centru.

Pirmojo sluoksnio garinimo metu antroji magnetroninio purškimo sistema, kurios taikiniai pagaminti iš silicio, uždengiama apsauginiu ekranu 5. Tai leidžia išvengti taikinių 3 paviršiaus užteršimo dulkėmis. Tuo pat metu, kai purškiamas pirmasis plonas sluoksnis, įjungiamas antroji magnetroninio purškimo sistema, esanti po apsauginiu ekranu 5. Šiuo tikslu antrosios magnetroninio purškimo sistemos magnetronams tiekiamas 1 kW galia, taip paruošiamas darbinis taikinių 3 paviršius antrojo plonasluoksnio dangos sluoksnio purškimui. Optinė valdymo sistema matuoja gaunamą signalą ir lygina jį su apskaičiuotomis charakteristikomis, o pasiekus reikiamus parametrus, optinė valdymo sistema generuoja signalą, stabdantį plonos plėvelės padengimo procesą. Purškimas sustabdomas išjungiant pirmosios magnetroninio purškimo sistemos maitinimo bloką, kad po išjungimo signalo būtų kuo trumpesnis purškiamos medžiagos sklidimo laikas.

Tuo metu toliau veikia plazmos šaltiniai 7. Deguonies srautas keičiamas pagal nustatytą antrojo sluoksnio sudėtį. Antrosios magnetroninio purškimo sistemos galia padidinama iki 3–5 kW. 15 sekundžių stabilizavus režimus, atidaroma antroji magnetroninio purškimo sistema su silicio taikinais 3 ir purškiamas antrasis plona

sluoksnis.

Tuo metu į pirmąją magnetroninio purškimo sistemą, kurią dabar dengia apsauginis skydas 5, tiekama 1 kW galia, kad darbinis taikinių paviršius būtų paruoštas tolesniam garinimui.

Toliau daugiasluoksnės tiksliosios optinės dangos plonų sluoksnių gaminimo algoritmas kartojamas tol, kol suformuojama norimų optinių savybių interferencinė danga.

Standartinis darbinis slėgis vakuuminėse technologinėse kamerosė, kai naudojamas magnetroninis purškimas, yra $5e-1$ Ra. Šiuo atveju naudojant plazmos šaltinius 7 kartu su magnetroninio purškimo sistemomis darbinį slėgį leidžia sumažinti iki $7e-2$ Ra.

pav. pateikiamas ultra siaurajuosčio filtro, kurio bangos ilgis 777,4 nm, pralaidumo grafikas, gautas taikant aprašytą būdą vakuuiniame aprašytos konstrukcijos įrenginyje. Pusinis plotis yra 0,8 nm, pralaidumas – iki 90 %, blokavimo diapazonas – 400–1000 nm OD3. Gautos pralaidumo, pusinio pločio ir blokavimo lygio vertės per vieną technologinį ciklą rodo didelį technologinio proceso stabilumą. Kartu minėto tipo dangos neįmanoma gauti be tikslios visų technologinio proceso parametrų ir gaminamų optinių sluoksnių savybių kontrolės, nenaudojant tiksliai pagamintų vakuuminio įrenginio mechaninių mazgų ir visų technologinių įrenginių darbo stabilumo.

pav. pateikiamos itin siaurajuosčių filtrų, pagamintų penkiais nepriklausomais procesais, pralaidumo diagramos, kai bangos ilgis 777,4 nm. Dangos centrinės bangos ilgio nuokrypis skirtinguose procesuose yra 0,6 nm arba 0,077 %, o tai netiesiogiai rodo didelį kiekvieno iš šimto šešiasdešimt trijų sluoksnių lūžio rodiklio ir storio stabilumą. O tai savo ruožtu rodo didelį tankį, homogeniškumą, sukibimą su substratu ir mažą įtempį.

Taigi, šiame išradime aprašyta vakuuminio įrenginio konstrukcija ir daugiasluoksnių plonasluoksnių tikslųjų optinių dangų gamybos būdas leidžia išspręsti nustatytą techninę problemą ir užtikrinti nurodytą techninį rezultatą.

Planetarinio mechanizmo naudojimas technologiniame procese leidžia užtikrinti aukštą išeigos procentą ne tik didinant substratų laikiklių skaičių, bet ir gerinant kiekvieno pagaminto plono sluoksnio ir visos dangos tolygumą dėl dvigubo

substratų sukimosi. Planetarinio mechanizmo matmenys, laikiklių tvirtinimas jame ir parinktos magnetronų bei plazmos šaltinių tarpusavio padėtys sudaro sąlygas gaminti dangas skirtingose technologinių įrenginių generuojamos didelio tankio jonizuotos plazmos zonose, o tai leidžia suformuoti plonus sluoksnius, pasižyminčius dideliu tankiu, homogeniškumu, sukibimu su substratu ir mažais įtempimais išoriniame substrato paviršiuje.

Tinkamas plazmos šaltinių, magnetroninio purškimo sistemų ir substratų tarpusavio išdėstymas vakuuminėje proceso kameroje, magnetroninio purškimo sistemų konstrukcijos ypatumai, produktų išsiurbimo iš vakuuminės proceso kameros sistemos elementų išdėstymas pagerina gaminamų dangų kokybę, nes leidžia išvengti dielektrinių plėvelių ir kitų teršalų susidarymo ant purškimo taikinių darbinių paviršių, kurie blogina magnetronų veikimą ir didina išlinkimo susidarymo tikimybę.

IŠRADIMO APIBRĖŽTIS

1. Vakuuminis įrenginys, skirtas daugiasluoksnėms plonasluoksnėms tikslioms optinėms dangoms gaminti, kuriame yra vakuuminio proceso kamera, laikiklius substratams tvirtinti vakuuminės proceso kameros viduje, kiekvienas laikiklis sugeba sukis aplink savo ašį, magnetronai su taikiniais, pagamintais iš medžiagų, sudarančių dangas ant išorinio substratų paviršiaus, plazmos šaltiniai, šildytuvai, optinio valdymo sistema, skirta matuoti gaminamos dangos optinį storį, kurioje laikikliai sukonstruoti taip, kad substratai sukasi aplink jų ašį, o kiekvienas magnetronas sumontuotas ant judėjimo įtaiso, kuriame magnetronas su taikiniais juda jų padėties plokštumoje, besiskiriantis tuo, kad:

- yra lyginis magnetronų skaičius, kuriame ant dviejų magnetronų sumontuoti vienodų medžiagų taikiniai sudaro magnetroninio purškimo sistemą;
- plazmos šaltiniai yra sumontuoti ant šoninių vakuuminės proceso kameros sienelių virš taikinių darbinų paviršių;
- substratų tvirtinimo laikikliai yra sumontuoti apskritimu planetariniame mechanizme, kuris užtikrina substratų sukimąsi aplink jų ašį ir aplink vakuuminės proceso kameros centrinę ašį, ir laikiklių, skirtų substratams tvirtinti, paviršiai yra vienoje plokštumoje plazmos šaltinių lygyje.

2. Vakuuminis įrenginys pagal 1 punktą, besiskiriantis tuo, kad optinio valdymo sistema turi optinio valdymo bloką su keičiamais kontroliniais elementais, sumontuotais ant laikiklio, užfiksuoto taip, kad laikiklis nesisuka aplink savo ašį, o kontrolinių elementų padėtis yra keičiama.

3. Vakuuminis įrenginys pagal 1 arba 2 punktą, besiskiriantis tuo, kad optinio valdymo blokas turi bent keturis kontrolinius elementus.

4. Vakuuminis įrenginys pagal bet kurį iš 1–3 punktų, besiskiriantis tuo, kad taikinių darbiniai paviršiai plokštuminiuose magnetronuose yra išdėstyti virš

magnetrono apsauginių elementų paviršių.

5. Vakuuminis įrenginys pagal bet kurį iš 1–4 punktų, besiskiriantis tuo, kad magnetronai yra montuojami ant judesio įrenginių, kad būtų galima judėti jų išdėstymo plokštumoje ir keisti polinkio kampą pradinės jų išdėstymo plokštumos atžvilgiu.

6. Vakuuminis įrenginys pagal bet kurį iš 1–5 punktų, besiskiriantis tuo, kad minėtas įrenginys papildomai apima ekranus taikinių darbo paviršių apsaugai, ekranai yra judesio mechanizmų pagalba judami, kad uždengtų arba atidengtų darbo paviršius technologinio proceso metu.

7. Vakuuminis įrenginys pagal bet kurį iš 1–6 punktų, besiskiriantis tuo, kad judėjimo įtaisai, ant kurių yra sumontuoti magnetronai, yra sumontuoti taip, kad magnetronų pasvirimo kampas yra keičiamas pradinės jų išdėstymo plokštumos atžvilgiu.

8. Vakuuminis įrenginys pagal bet kurį iš 1–7 punktų, besiskiriantis tuo, kad jis apima dvi magnetroninio purškimo sistemas ir du plazmos šaltinius, sumontuotus ant šoninių vakuuminio proceso kameros sienelių viena priešais kitą, viename aukštyje virš taikinių darbinių paviršių.

9. Vakuuminis įrenginys pagal bet kurį iš 1–8 punktų, besiskiriantis tuo, kad darbinių dujų išsiurbimo iš vakuuminio proceso kameros sistemos elementai yra įrengti taip, kad nukreiptų srautus nuo taikinių darbinių paviršių.

10. Vakuuminis įrenginys pagal bet kurį iš 1–9 punktų, besiskiriantis tuo, kad jis apima plokštuminius magnetronus.

11. Vakuuminis įrenginys pagal bet kurį iš 1–9 punktų, besiskiriantis tuo, kad jis apima cilindrinčius magnetronus.

12. Daugiasluoksnių plonasluoksnių tikslių optinių dangų dengimo būdas, apimantis:

- substratų tvirtinimą laikikliuose, besisukančiuose aplink savo ašį, vakuuminės proceso kameros viduje;

- substratų kaitinimą intervale nuo 50° iki 300° temperatūros naudojant šildytuvus;

- plazmos generavimą technologiniais įrenginiais visame vakuuminės technologinės kameros tūryje;

- plonos plėvelės sluoksnių dengimą magnetroninio taikinių medžiagų purškimo būdu, naudojant plazmos šaltinius;

- substratų sukimąsi aplink jų ašį ir aplink vakuuminės proceso kameros centrinę ašį, kad būtų užtikrintas judėjimas per didelio tankio plazmos zonas pakaitomis purškimo ir oksidacijos metu;

dangos optinis storis matuojamas naudojant optinę kontrolės sistemą; besiskiriantis tuo, kad:

- yra naudojamos magnetroninio purškimo sistemos, sudarytos iš dviejų magnetronų su vienodais taikiniiais ir plazmos šaltinių, esančių virš taikinių darbinių paviršių už magnetronų sukurtos plazmos degimo zonos ribų,

- substratai sukasi aplink savo ašį ir aplink vakuuminės proceso kameros centrinę ašį, kad būtų užtikrintas judėjimas per didelio tankio plazmos zonas pakaitomis purškimo ir oksidacijos metu ir

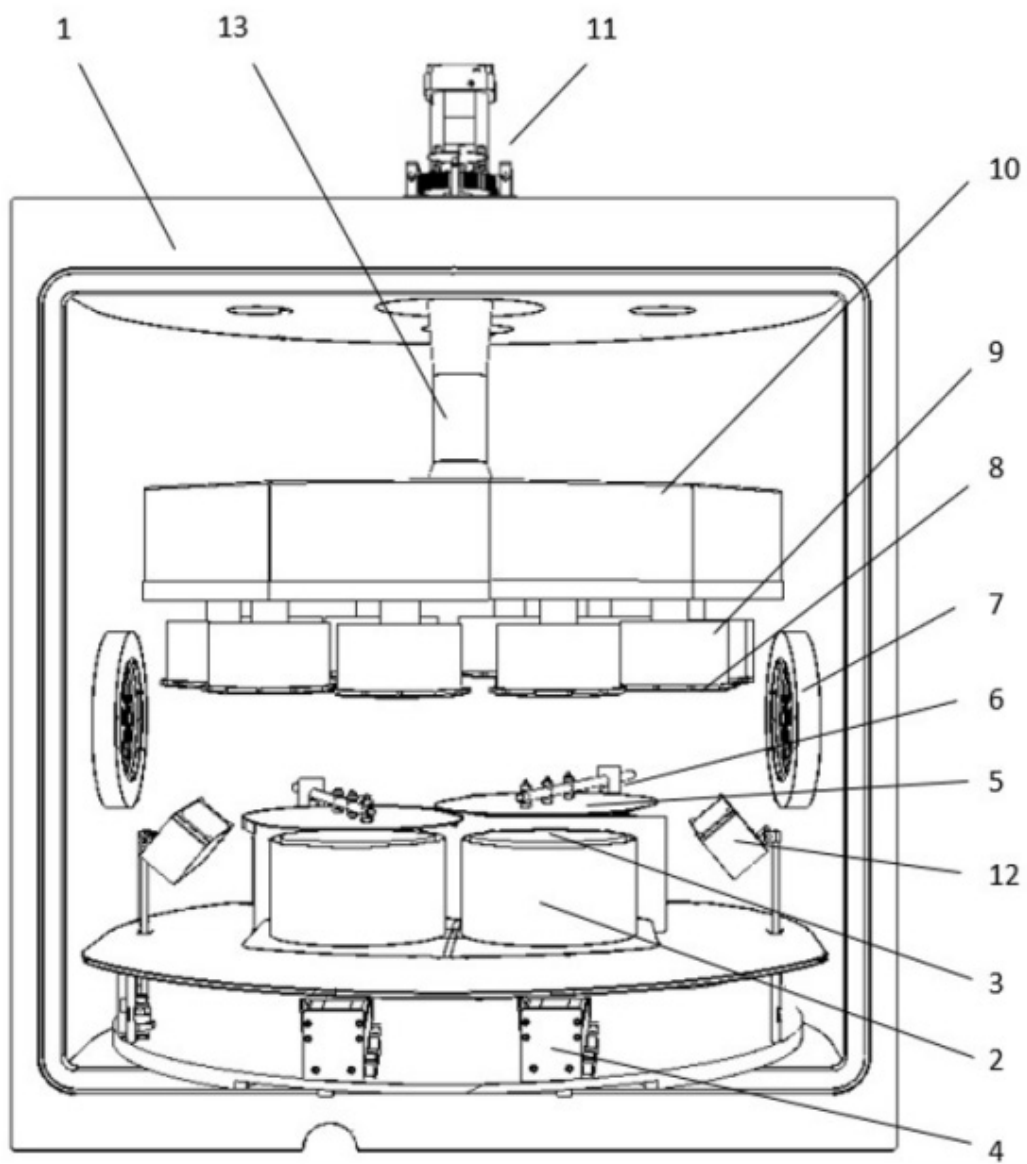
- dangos gaminamos esant sumažintam slėgiui.

13. Daugiasluoksnių plonasluoksnių tikslių optinių dangų dengimo būdas pagal 12 punktą, besiskiriantis tuo, kad optinio valdymo sistemoje naudojami keli kontroliniai elementai, kai optinės dangos konstrukcija suskaidoma į kelias paprastas konstrukcijas, kurių kiekvieną kontroliuoja atskiras kontrolinis elementas.

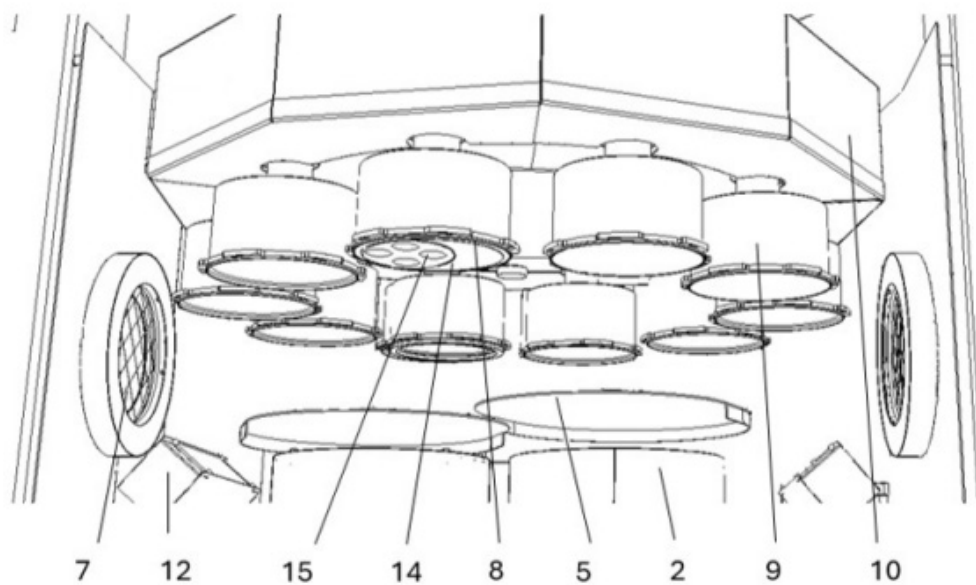
14. Daugiasluoksnių plonasluoksnių tikslių optinių dangų dengimo būdas pagal

12 arba 13 punktą, besiskiriantis tuo, kad didelio tankio plazmos srityje substrato garinimo ir oksidacijos zonos yra skirtingose kampinėse koordinatėse.

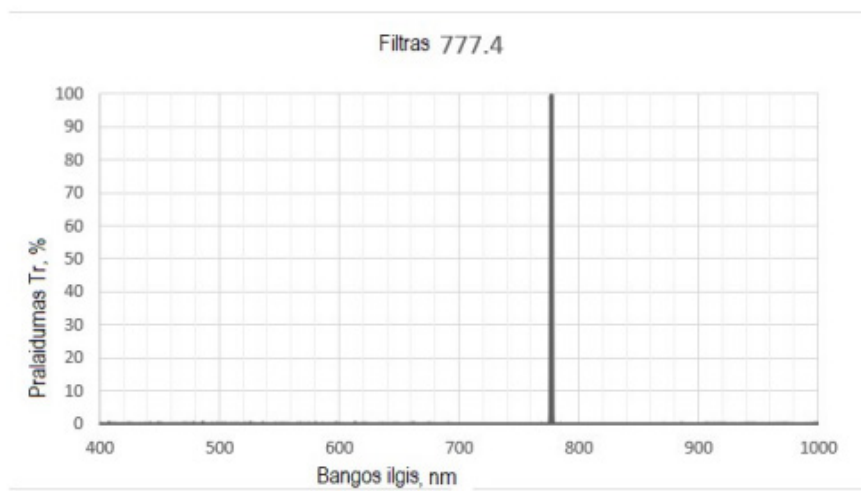
15. Daugiasluoksnių plonasluoksnių tikslių optinių dangų dengimo būdas pagal bet kurį iš 12–14 punktų, besiskiriantis tuo, kad kiekvienos magnetroninio purškimo sistemos veikimą palaiko bet du plazmos šaltiniai.



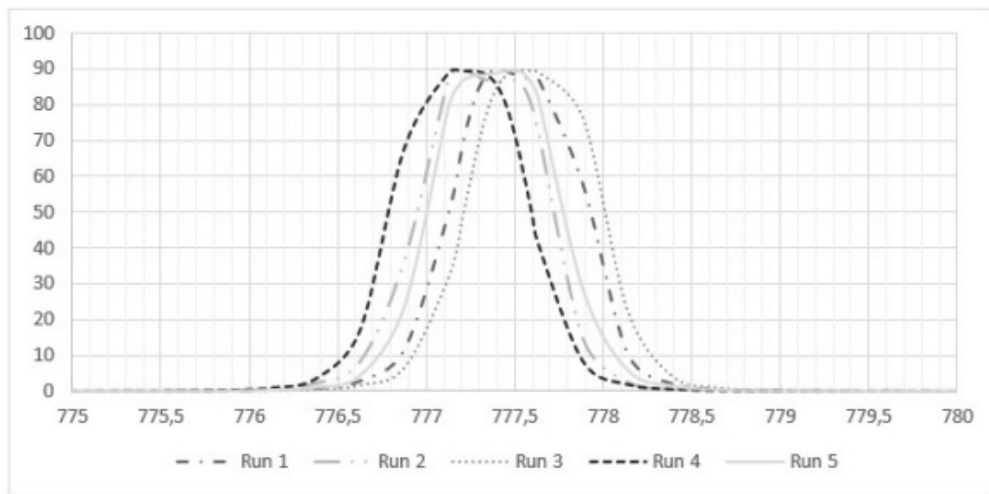
1 pav.



2 pav.



3 pav.



4 pav.