

(19)

Lietuvos  
Respublikos  
valstybinis  
patentų biuras

(11) **LT 7009 B**

(51) Int. Cl. (2023.01):

**B29C 35/00**  
**D01D 5/00**

## (12) **PATENTO APRAŠYMAS**

(21) Paraiškos numeris: **2021 574**  
(22) Paraiškos padavimo data: **2021-12-10**  
(41) Paraiškos paskelbimo data: **2023-06-26**  
(45) Patento paskelbimo data: **2023-07-25**

(73) Patento savininkas:  
**Kauno technologijos universitetas, K. Donelaičio g. 73, 44249 Kaunas, LT**  
**Pažangiosios technologijos, UAB, Liucinavo k., 69168 Marijampolė, LT**

(72) Išradėjas:  
**Martynas TICHONOVAS, LT**  
**Tadas PRASAUSKAS, LT**  
**Darius ČIUŽAS, LT**  
**Edvinas KRUGLY, LT**  
**Dainius MARTUZEVIČIUS, LT**

(74) Patentinis patikėtinis/atstovas:  
**Aušra PAKĖNIENĖ, 50, AAA Law, A. Goštauto g. 40B, Verslo centras „Dvyniai“, LT-03163 Vilnius, LT**

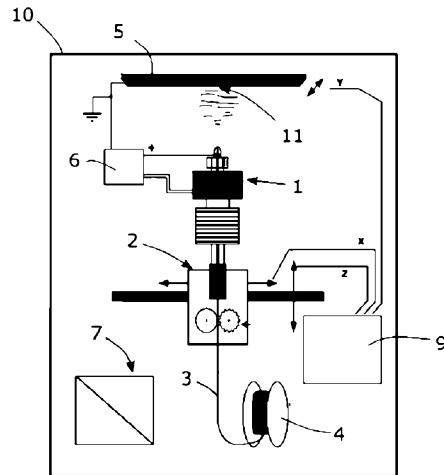
**LT 7009 B**

(54) Pavadinimas:

**Polimerinių pluoštinių matricų formavimo būdas ir tokiu būdu gauta pluošto matrica**

(57) Referatas:

Išradimas yra polimerinės pluoštinės matricos formavimo būdas, apimantis polimero gijos dozavimą, polimero gijos kaitinimą ir lydymą, išlydyto polimero nukreipimą iš apačios į viršų elektriniame lauke ir polimerinės matricos formavimą ant pagrindo. Polimerinė pluoštinė matrica yra formuojama sandarioje, valdomo klimato kameroje. Kaitinimo ir lydymo galvutės kaitinimas ir temperatūros matavimas yra atliekamas tiekiant įtampą iš maitinimo šaltinio žemos įtampos tiekimo dalies, o elektrinis laukas tarp teigiamą potencialą turinčios kaitinimo ir lydymo galvutės ir polimerinės pluoštinės matricos įžeminto pagrindo yra sukuriamas naudojant maitinimo šaltinio aukštos įtampos tiekimo dalį. Aukštos įtampos tiekimo sritis kaitinimo ir lydymo galvutėje yra izoliuota nuo kaitinimo ir lydymo galvutės kaitinimo elemento, kuriam yra tiekiamą žema įtampa, ir nuo visų kitų polimerinės pluoštinės matricos formavimo įrenginio elementų. Polimerinės pluoštinės matricos struktūra yra keičiama keičiant atstumą nuo kaitinimo ir lydymo galvutės iki įžeminto pagrindo, o didinant aukštos įtampos vertę, mažėja matricos mikropluošto gijų skersmuo ir matricos paviršinių porų plotis.



1 pav.

## TECHNIKOS SRITIS

Išradimas yra susijęs su polimerinių pluoštinių matricų formavimo būdu ir konkrečiau su polimerinių pluoštinių matricų formavimu, kombinuotu lydalo nusodinimo modeliavimo ir elektrinio verpimo būdu ir tokiu būdu gauta porėta neaustinio pluošto polimerinė matrica.

## TECHNIKOS LYGIS

Nanomikro pluoštinių matricų, skirtų biomedicininėms ląstelių trimačių kultūrų auginimui, rinka sparčiai plečiasi visame pasaulyje. Pagrindinis tokių technologijų poreikis yra JAV ir Kinijoje, taip pat Europoje. Pluoštinių matricų formavimui yra naudojamos tokios technologijos, kaip tirpiklinis dvimatis (toliau - 2D) ir trimatis (toliau 3D) elektriniai verpimai, betirpiklinis 2D verpimas, betirpiklinis 3D verpimas fokusuojant polimero giją elektrostatiškai lauke ir t.t.

Įprastiniai betirpiklinio trimačio verpimo, fokusuojant polimero giją elektrostatiškai lauke, būdai susiduria su pluošto nusodinimo problemomis, kurios neigiamai įtakoja matricų pluoštų skersmenį ir matricų porų dydį. Formuojamų matricų pluošto gijų trimačio pozicionavimo problema pasireškia tuo, kad trečioji dimensija sukelia daugybę iššūkių neleidžiančių tinkamai suformuoti norimos trimatės struktūros. Poli(ε-kaprolaktonas) (PCL) yra bioskaidus poliesteris, kuris yra naudojamas polimerinių pluoštinių matricų formavimui. Tačiau šios medžiagos pagrindu suformuotų struktūrų trūkumas yra hidrofobiškumas, kuris sąlygoja prastą biosuderinamumą (*W. Wang et al., 2016; Zhu et al., 2002*).

Korėjos patente Nr. KR101518402B1 yra atskleistas FDM (*fused deposition modeling*) spausdinimo įrenginys, naudojantis elektrostatiškas jėgas. Polimerinė medžiaga išlydoma ir išpurškiama per purkštuką, praeina pro įžemintą žiedą, pro ritę, kuri generuoja elektrovaros jėgą, keičiant elektrovaros jėgą keičiamas gijos diametras, gijos surenkamos ant pagrindo – kolektoriaus. Gijos sluoksniuojamos ir taip gaunamas norimas atspausdinti 3D objektas. Medžiagų lydymo zonoje, lazerio pagalba, generuojamos aukštos temperatūros, todėl galima naudoti ne tik polimerines medžiagas, bet ir metalų miltelius. Nuo atskleidime nurodyto išradimo FDM spausdinimo įrenginys skiriasi elektrinio lauko sudarymo ir polimero išlydymo metodais, bei polimero išlydymo galvutės pozicionavimu erdvėje. Nurodyto patento

objekte naudojamas papildomas elektrinis laukas pozicionuoti polimero gijoms ant kolektoriaus, skirtingai nei polimerinių pluoštinių matricų formavimo įrenginyje. Patente aprašytas objektas yra skirtas 3D struktūrų spausdinimui, bei neapima polimerinių pluoštinių matricų formavimo.

JAV patentinėje paraiškoje Nr. US2016200043A1 atskleistas įrenginys, trimatis biospausdintuvas, skirtas trimačių biokonstruktų spausdinimui. Patentinėje paraiškoje yra aprašytas 3D biospausdintuvas, skirtas 3D biokonstruktų gamybai. Polimeras išlydomas ir laikomas teigiamo slėgio rezervuare, kuris yra sujungtas su purkštuku, purkštukas ir pagrindas sujungti su aukštos įtampos šaltiniu (galvutė prie neigiamo poliaus, o pagrindas prie teigiamo poliaus), aukštos įtampos šaltinis sukuria elektrostatinę jėgą, kurios dėka polimero gijos nusodinamos ant pagrindo. Tam, kad būtų galima suformuoti norimos formos ir struktūros 3D gaminį, pagrindas juda x, y ir z ašimis. Iš mikrometrinių polimerinių gijų gali būti spausdinami skirtingos gijų orientacijos, skirtingos formos ir skirtingo poringumo 3D biokonstruktai ir implantai, kurie gali būti pritaikomi individualiai. Nuo atskleidime nurodyto išradimo skiriasi polimero išlydymo būdas: polimeras yra išlydomas ir laikomas polimero lydalo rezervuare.

Kinijos patentinėje paraiškoje Nr. CN110315753A yra atskleistas trimatis spausdinimo įrenginys, skirtas elektrostatiniam verpimui. Patentinėje paraiškoje yra aprašytas elektroverpimo procesas ir 3D spausdinimas iš lydalo. Polimerinės medžiagos išlydomos ir laikomos teigiamo slėgio rezervuare, kuris yra sujungtas su purkštukais ( $\geq 2$ ). Purkštukai ir pagrindas ant kurio surenkamas polimero pluoštas yra sujungti su aukštos įtampos šaltiniu, kuris generuoja elektrostatinį lauką, dėl kurio ir vyksta elektroverpimo procesas. Pagrindas gali judėti x ir y ašimis, pagal iš anksto užduotą režimą. Nuo atskleidime nurodyto išradimo skiriasi išlydymo būdas: polimeras yra išlydomas ir laikomas polimero lydalo rezervuare.

Kinijos patentinėje paraiškoje Nr. CN104099675A yra atskleistas elektrostatinio verpimo prietaisas. Patentinėje paraiškoje yra pateiktas elektroverpimo procesas, kuris gali būti pritaikytas 3D spausdinimui. Polimero granulės sraigtinio transporterio pagalba tiekiamos į kaitinimo galvutę, besisukantis sraigtinis transporteris sukuria teigiamą slėgį, dėl ko išlydytas polimeras teką pro galvutę. Galvutės skylutė yra sferinės formos ir prijungta prie aukštos įtampos šaltinio, dėl kurio iš polimero lydalo susiformuoja polimero gijos, kurios surenkamos ant pagrindo. Galvutė juda x ir y

ašimis, o pagrindas z ašimi. Nuo atskleidime nurodyto išradimo skiriasi išlydymo būdas: polimero granulės yra tiekiamos sraigtu ir išlydytos yra tiekiamos į spausdinimo galvutę, dėl ko gali būti gaunamas netolygus polimero tiekimas.

Kinijos patentinėje paraiškoje Nr. CN105887217A yra atskleistas trimačio spausdinimo purkštukas ir spausdintuvas, veikiantis elektrostatinio verpimo principu. Patentinėje paraiškoje yra pateiktas procesas, skirtas tekstilės pramonei. Polimero lydalas tiekiamas į besisukančia perforuotą galvutę, kuri sujungta su aukštos įtampos šaltiniu. Galvutė sukasi ir pro jos perforuotas sieneles tekėdamas polimero lydalas virsta elektrostatinį krūvį turinčiomis gijomis, kurios išlėkusios surenkamos ant pagrindo, kuris sujungtas su aukštos įtampos šaltiniu. Nuo atskleidime nurodyto išradimo skiriasi išlydymo būdas, o išlydyto polimero iš rezervuaro tiekimui yra naudojamas suspaustas oras.

Kinijos patentinėje paraiškoje Nr. CN106283216A yra atskleistas trimačio spausdinimo įrenginys, veikiantis elektrostatinio verpimo principu. Patente aprašytas elektroverpimo procesas ir 3D spausdinimas iš lydalo. Polimerinės medžiagos išlydomos ir laikomos teigiamo slėgio rezervuare, kuris yra sujungtas su adata (jos diametrą priklausomai nuo poreikio galima keisti). Adata ir pagrindas ant kurio surenkamas polimero pluoštas yra sujungti su aukštos įtampos šaltiniu, kuris generuoja elektrostatinį lauką, dėl kurio ir vyksta elektroverpimo procesas. Pagrindas gali judėti x ir y ašimis, adata su stovu z ašimi, jų judėjimą valdo kompiuteris. Nuo atskleidime nurodyto išradimo skiriasi išlydymo būdas. Išlydyto polimero iš rezervuaro tiekimui naudojamas suspaustas oras. Išlydytas polimeras būdamas aukštoje temperatūroje rezervuare gali skilti ir prarasti savo pradines savybes.

Išradimas neturi aukščiau išvardintų trūkumų susijusių su polimero tiekimu, trumpalaikiu jo išlydymu, polimero skilimo ir pirminių savybių praradimo prevencija ir apima papildomus privalumus – tikslų valdiklių valdomą polimero lydymo galvutės pozicionavimą x-z ir pagrindo y ašimis.

### **IŠRADIMO ESME**

Išradimas apima polimerinių pluoštinių matricų formavimo procesą kombinuotu lydalo nusodinimo modeliavimo ir elektrinio verpimo būdu. Žaliava, polimero gija, kurios storis yra  $1,7 \pm 0,2$  mm, arba skirtingų rūšių polimerinės medžiagos ir jų mišiniai,

panaudojant mechaninį dozatorių, stumiama į keičiamo skersmens kaitinamą elektrinio verpimo galvutę, skirtą polimero išlydymui. Polimero mechaninio dozatoriaus darbą, polimero tiekimo debitą, kontroliuoja kompiuterio programinė įranga. Panaudojant aukštos įtampos šaltinį elektriniam laukui sukurti, kada kaitinama elektrinio verpimo galvutė yra įelektrinta teigiamai, suformuoti polimeriniai pluoštai skrieja suformuotame elektriniame lauke ir yra nusodinami ant įžeminto pagrindo. Kaitinimo galvutė veikia kaip teigiamai įkrautas aukštos elektros įtampos elektrodas, o pagrindas yra įžeminamas, tokiu būdu tarp jų suformuojant polimeriniam lydalui judėti skirtą elektrinį lauką.

Kadangi polimero gijos kaitinimo ir lydymo galvutė turi būti prijungta prie aukštos įtampos šaltinio vieno iš polių, tam, kad būtų sukurtas elektrinis laukas tarp kaitinimo ir lydymo galvutės ir matricų formavimo pagrindo, kur polimero lydalas kontaktuoja tiek su kaitinimo elementu, tiek su temperatūros jutikliu, tiek su polimero dozavimo priemone, todėl dėl aukštos įtampos šie elementai yra lengvai pažeidžiami. Išradime aukšta įtampa yra atskirta nuo polimero kaitinimo ir lydymo galvutės maitinimo, taip išvengiant nepageidaujamo neigiamo aukštos įtampos poveikio elektrinėms formavimo įrenginio dalims. Žema įtampa iš žemos įtampos šaltinio yra tiekama kaitinimo ir lydymo galvutės kaitinimo elementui ir galvutės temperatūros matavimui.

Polimeras yra išlydomas ir po ekstruzijos, veikiamas elektrinio lauko, formuojasi į mikrometrinio dydžio pluoštus, kurie skrieja nuo teigiamą krūvį turinčios polimero lydymo galvutės link įžeminto pagrindo. Nedidelis kaitinamosios galvutės tūris užtikrina trumpą polimero lydalo laikymo trukmę galvutėje iki gijų suformavimo, taip išvengiant polimero terminės degradacijos lydimo metu. Polimero lydalas elektriniame lauke pluoštinamas vertikaliai iš apačios į viršų, taip išvengiant nepageidaujamų pluošto defektų, tolygesnis elektrinio verpimo procesas.

3D pozicionavimo modulis leidžia 2D ir 3D dimensijose kontroliuoti gaminamų matricų struktūros savybes, tokias kaip bendrą pluošto formą, gijų išsidėstymą ir t.t., skirtingai nei įprastiniuose metoduose, kuriuose procesas vyksta chaotiškai ir nekontroliuojamai. Polimerinių medžiagų pluoštinės matricos pagamintos iš polimero lydalo pasižymi mažu citotoksiškumu, nes gamybos metu nenaudojami kenksmingi ir toksiški tirpikliai.

Gaunama porėta, neaustinio pluošto mikrometrinių gijų polimerinė matrica, su

dideliu gijų savituoju paviršiumi, kuri gali būti taikoma medicinoje, farmacijoje, chemijos, energetikos aplinkos inžinerijos ir daugelyje kitų sričių.

### TRUMPAS BRĖŽINIŲ APRAŠYMAS

Išradimo, kuris yra naujas ir neakivaizdus ypatybės yra pateikiamos apibrėžties punktuose. Tačiau išradimas gali būti geriausiai suprantamas remiantis šiuo išsamiu išradimo aprašymu, kuriame, neribojant išradimo esmės, aprašomi pavyzdiniai išradimo variantai yra pateikti kartu su pridedamais brėžiniais, kuriuose:

1 pav. yra pavaizduota polimerinių pluoštinių matricų formavimo įrenginio principinė schema.

Tinkamiausi išradimo variantai yra aprašyti žemiau su nuorodomis į brėžinį.

### IŠSAMUS IŠRADIMO ĮGYVENDINIMO APRAŠYMAS

Turėtų būti suprantama, kad daugybė konkrečių detalių yra išdėstytos, siekiant pateikti pilną ir suprantamą išradimo pavyzdinio įgyvendinimo aprašymą. Tačiau srities specialistui bus aišku, kad išradimo įgyvendinimo pavyzdžių detalumas neapriboja išradimo įgyvendinimo, kuris gali būti įgyvendintas ir be tokių konkrečių nurodymų. Gerai žinomi būdai, procedūros ir sudedamosios dalys nebuvo detalai aprašyti, kad išradimo įgyvendinimo pavyzdžiai nebūtų klaidinantys. Be to, šis aprašymas neturi būti laikomas apribojančiu pateiktus įgyvendinimo pavyzdžius, o tik kaip jų įgyvendinimas.

Nors išradimo įgyvendinimo pavyzdžiai, ar jų aspektai, taip kaip parodyti ir aprašyti, apima daugybę komponentų, kurie yra pavaizduoti esantys tam tikroje bendroje erdvėje ar vietoje, kai kurie komponentai gali būti ir nutolę. Taip pat turėtų būti suprantama, kad pateikti pavyzdžiai neapsiriboja tik aprašytais komponentais ir apima ir kitus, jų funkcionavimui ir sąveikai su kitais komponentais, reikalingus elementus, kurių buvimas yra savaime suprantamas, todėl nedetalizuojamas.

Polimerinių pluoštinių matricų formavimo būdui įgyvendinti yra naudojamas įrenginys, kuris apima: polimero lydalo kaitinimo ir lydymo galvutę (1) su trumpu lydalo keliavimo galvutėje, išlydytoje būsenoje ir aukštoje temperatūroje, keliu; polimero gijos dozavimo priemonę (2); tiekiamą polimero giją (3); polimero gijos ritę (4); polimerinių pluoštinių matricų formavimo pagrindą (5); įtampos šaltinį (6), apimančią vieną nuo kitos

izoliuotas aukštos įtampos tiekimo ir žemos įtampos tiekimo dalis, kur aukštos įtampos dalis yra skirta tiekti aukštą įtampą elektrinio lauko suformavimui tarp polimerinio lydalo kaitinimo ir lydymo galvutės (1) ir pagrindo (5), o žemos įtampos dalis yra skirta tiekti įtampą polimerinio lydalo kaitinimo ir lydymo galvutei (1), polimerinio lydalo kaitinimui ir išlydymui bei galvutės (1) temperatūros matavimui; valdiklį (7), apimantį polimerinių pluoštinių matricų formavimo aplinkos temperatūros valdymo modulį ir aplinkos drėgmės valdymo modulį; kaitinimo ir lydymo galvutės (1) ir pagrindo (5) pozicionavimo vienas kito atžvilgiu valdymo valdiklį (9), skirtą polimerinių pluoštinių matricų pagrindui valdyti y ašyje, o polimero lydalo kaitinimo ir lydymo galvutę (1) x-z ašyse; kontroliuojamo klimato kamerą (10), kurioje yra formuojamos polimerinės pluoštinės matricos.

Kontroliuojamo klimato kameros (10), kuri yra sandari kamera, viduje yra patalpinta bent polimero lydalo kaitinimo ir lydymo galvutė (1); polimero gijos dozavimo priemonė (2); tiekiamą polimero gija (3); polimero gijos ritė (4); polimerinių pluoštinių matricų pagrindas (5).

Polimerinių pluoštinių matricų formavimo įrenginio darbas yra valdomas įprastiniais kompiuteriniais mikroprocesoriais. Valdymas apima: maitinimo šaltinio (6) valdymą; pagrindinių darbinių aplinkos parametrų valdymą valdikliu (7), apimančiu polimerinių pluoštinių matricų formavimo aplinkos temperatūros valdymo modulį ir aplinkos drėgmės valdymo modulį; polimerinių pluoštinių matricų formavimo proceso valdymą x, y, z ašyse, naudojant įprastiniuose 3D spausdintuvuose naudojamą x, y, z ašių valdiklį (9).

Pagal vieną išradimo, polimerinių pluoštinių matricų formavimo būdas, įgyvendinimo pavyzdį, polimero gija (3), yra dozuojama iš ritės (4) į polimero lydalo kaitinimo ir lydymo galvutę (1), dozavimo priemone (2). Polimero lydalo kaitinamos galvutės (1) temperatūra yra valdoma temperatūros valdikliu, kuris yra maitinimo šaltinio (6) dalis. Polimero lydalo kaitinimo ir lydymo galvutės (1) kaitinimo elementas yra prijungtas prie maitinimo įtampos šaltinio (6), žemos įtampos tiekimo dalies. Polimero lydalo kaitinimo ir lydymo galvutė (1) yra prijungtas prie maitinimo įtampos šaltinio (6), aukštos įtampos tiekimo dalies. Polimerinių pluoštinių matricų formavimo pagrindas (5), ant kurio yra formuojama polimerinė pluoštinė matrica (11), yra įžemintas. Uždaroje kontroliuojamo klimato kameroje (10) aplinkos temperatūra yra kontroliuojama valdiklio (7) temperatūros kontrolės moduliu, oro drėgmė yra

kontroliuojama valdiklio (7) oro drėgmės valdymo moduliu. Formuojamos polimero pluoštinės matricos (11) pozicionavimas erdvėje yra valdomas x, y, z ašies valdikliu (9), valdant kaitinimo ir lydymo galvutės (1) ir pagrindo (5) tarpusavio padėtį erdvėje, apibrėžtoje x, y, z ašimis, kur x, y, z ašys yra trimatė Dekarto koordinatinių sistemos ašys. Polimero kaitinimo ir lydymo galvutė (1) valdikliu (9) yra pozicionuojama erdvėje, x ir z ašimis, tuo tarpu pagrindas (5) - y ašimi. Polimero kaitinimo ir lydymo galvutėje (1) išlydytas polimeras iš galvutės patenka tiesiai į aukštos įtampos elektrinį lauką, suformuojamą tarp polimero kaitinimo ir lydymo galvutės (1) ir matricų formavimo pagrindo (5). Pradedama formuoti kontroliuojamų charakteristikų polimero gijų matricas (11), surenkant elektriniame lauke, iš apačios į viršų, skriejančias polimerinio lydalo gijas ant pagrindo (5) paviršiaus. Tarp polimero kaitinimo ir lydymo galvutės (1) ir pagrindo (5) sudaroma aukšta įtampa sukuria elektrinį lauką, kur įtampa yra ribose nuo 0,5 kV iki 30 kV. Atstumas tarp polimero kaitinimo ir lydymo galvutės (1) ir pagrindo (5) gali būti keičiamas ribose nuo 2 mm iki 200 mm.

Valdiklis (7), apimantis temperatūros ir drėgmės valdymo modulius su integruotais atitinkamais jutikliais, kontroliuoja klimato kameros (10) temperatūrą ir drėgmę. Valdiklio (7) moduliai atlieka toliau nurodytas funkcijas: šildymas, šaldymas, drėkinimas, sausinimas. Naudojant valdiklio (7) vartotojo sąsają, apimančią duomenų išvesties priemonę, tokią kaip LCD ekranas, ir duomenų įvesties priemonę, tokią kaip klaviatūrą, valdiklyje (7) yra nustatoma pageidaujama temperatūra ir drėgmė, kuri privalo būti palaikoma klimato kameroje (10). Valdiklis (7) seka esamas aplinkos sąlygas 1Hz dažniu ir atitinkamai parenka temperatūros ir drėgmės verčių kombinacijas, tinkamas polimero pluoštinės matricos (11) formavimui, kontroliuojamo klimato kameroje (10). Valdiklis (7) taip pat atlieka polimero dozavimo priemonės (2) valdymą, kur minėtas valdymas apima polimero gijos tiekimo greičio valdymą 0,01–100 mm/min diapazone. Polimero gijos tiekimo į polimero lydalo kaitinimo ir lydymo galvutę (1) valdymas yra atliekamas rankiniu būdu arba pagal polimerinių pluoštinių matricų formavimo įrenginio naudojamą duomenų failą, kuris gali būti toks, kaip įprastiniuose 3D spausdintuvuose naudojamas duomenų failas.

Maitinimo šaltinio (6) aukštos įtampos dalies tiekiamos įtampos dydis yra nustatomas per valdiklio, kuris yra maitinimo šaltinio (6) dalis, vartotojo sąsają, apimančią duomenų išvesties priemonę, tokią kaip LCD ekraną, ir duomenų įvesties priemonę, tokią kaip klaviatūrą. Įtampos parinkimo intervalas yra 0–30 kV. Maitinimo

šaltinis (6) automatiškai palaiko nustatytą įtampos lygį, nuolatos, 100 Hz dažniu, matuodamas esamą įtampą ir parinkdamas aukštos įtampos konverterio galią. Galima pasirinkti saugumo funkcijas – įtampa išjungžiama atidarius klimato kameros (10) duris, esant srovės šuoliams ir kt..

Priklausomai nuo naudojamų darbinių parametų, polimerinių pluoštinių matricų formavimo būdu, galima suformuoti mikroplošto matricą, kurios gijų skersmuo yra nuo  $288,6 \pm 36,3$  nm iki  $4,6 \pm 2,5$   $\mu$ m, o matricos paviršinių porų dydis yra nuo  $572,8 \pm 65,4$  nm iki  $14,3 \pm 6,3$   $\mu$ m.

Vienu išradimo įgyvendinimo atveju, polimero kaitinimo ir lydymo galvutė (1) yra prijungta prie maitinimo šaltinio (6), 5–30 kV izoliuotos aukštos įtampos dalies. Tai yra įtampa tarp kaitinimo ir lydymo galvutės (1) ir polimerinių pluoštinių matricų formavimo pagrindo (5). Priklausomai nuo polimero ir jo savybių, kaitinimo ir lydymo galvutės (1) temperatūra gali būti keičiama nuo 110 iki 250 °C. Optimali polimero lydalo, tokio kaip polikapraloktonas (PCL), lydymo temperatūra yra 240 °C.

Į kaitinimo ir lydymo galvutę (1) tiekiamos polimero gijos skersmuo yra  $1,7$  mm  $\pm 0,2$  mm.

Visais išradimo įgyvendinimo atvejais, polimero kaitinimo ir lydymo galvutei (1) yra suteiktas teigiamas krūvis ir ji veikia kaip teigiamo krūvio elektrodas. Polimerinė pluoštinė matrica (11) yra nusodinama ant neigiamo krūvio elektrodo, kuris yra suformuotas kaip matricos nusodinimo pagrindas (5).

Kaitinimo ir lydymo galvutės (1) pozicionavimas apima jos valdymą x-z ašyse, nuo 1 iki 100 mm/s greičiu. Kaitinimo ir lydymo galvutės (1) skersmuo gali būti keičiamas nuo 200 iki 800  $\mu$ m. Norint suformuoti mažesnio diametro gijų pluoštines matricas (11), parenkama galvutė su mažesniu skersmeniu.

Atstumas nuo polimero gijos kaitinimo ir išlydymo galvutės (1) iki polimerinių pluoštinių matricų formavimui skirto pagrindo (5) gali būti keičiamas nuo 5 iki 40 mm, pavyzdžiui žingsniu – 5 mm, 10 mm, 20 mm ir 40 mm. Polimero tiekimo greitis gali būti keičiamas nuo 4,8 iki 13,4 mg/min, pavyzdžiui žingsniu - 4,8 mg/min, 8,5 mg/min ir 13,4 mg/min. Priklausomai nuo atstumo tarp kaitinimo ir lydymo galvutės (1) ir matricos formavimo pagrindo (5), aukštos įtampos vertės gali būti keičiamos nuo 5 kV iki 28 kV, pavyzdžiui žingsniu – 5 kV, 10 kV, 15 kV, 20 kV, 25 kV ir 28 kV. Pavyzdžiui, esant 10 mm atstumui tarp galvutės (1) ir pagrindo (5), maksimali saugi įtampos vertė yra 10 kV.

Atstumas tarp kaitinimo ir lydymo galvutės (1) ir pagrindo (5) smarkiai įtakoja pluoštinės matricos (11) struktūrą. Pavyzdžiui, esant iki 20 mm atstumui tarp galvutės (1) ir pagrindo (5), matricos (11) pluošto gijos susilydo tarpusavyje, nes išlėkusi PCL gija nespėja atvėsti. Pavyzdžiui esant 40 mm atstumui tarp galvutės (1) ir pagrindo (5), PCL gijos nesusilydo viena su kita.

Didinant aukštos įtampos vertę tarp kaitinimo ir lydymo galvutės (1) ir matricos formavimo pagrindo (5), matricos (11) mikropluošto gijų skersmuo ir matricos (11) paviršinių porų plotis mažėja. Esant 250 °C kaitinimo ir lydymo galvutės (1) temperatūrai, 20 mm atstumui tarp kaitinimo ir lydymo galvutės (1) ir pagrindo (5), esant 8,55 mg/min PCL tiekimo greičiui ir keičiant aukštos įtampos vertę PCL matricos gijų skersmuo kinta sekančiai: kai įtampos vertė yra 5 kV, gijos skersmuo yra  $71\pm 14$  μm; kai įtampos vertė yra 10 kV, gijos skersmuo yra  $34\pm 5$  μm; kai įtampos vertė yra 15 kV, gijos skersmuo yra  $28\pm 5$  μm; kai įtampos vertė yra 20 kV, gijos skersmuo yra  $21\pm 3$  μm.

Išradimas gali būti taikomas plačiame sektorių intervale, kur reikalingos polimerinės pluoštinės matricos: medicina (audinių inžinerija), farmacija (pleistrai, tvarsčiai, farmacinių medžiagų įkapsuliavimas), chemijos ir aplinkos inžinerija (filtracija, separacija, sorbcija), elektronika (jutiklių matricos) ir pan.

Nors išradimo aprašyme buvo išvardinta daugybė charakteristikų ir privalumų, kartu su išradimo struktūrinėmis detalėmis ir požymiais, aprašymas yra pateikiamas kaip pavyzdinis išradimo išpildymas. Gali būti atlikti pakeitimai detalėse, ypač medžiagų formoje, dydyje ir išdėstyme nenutolstant nuo išradimo principų, vadovaujantis plačiausiai suprantamomis apibrėžties punktuose naudojamų sąvokų reikšmėmis.

## IŠRADIMO APIBRĖŽTIS

1. Polimerinės pluoštinės matricos formavimo būdas, apimantis polimero gijos dozavimą iš polimero gijos ritės į polimero gijos kaitinimo ir lydymo galvutę, polimero gijos kaitinimą ir lydymą, ir nukreipimą elektriniame lauke ant polimerinės pluoštinės matricos formavimo pagrindo b e s i s k i r i a n t i s tuo, kad

polimero gija (3) iš polimero gijos ritės (4) dozuojama dozavimo priemone (2) į polimero lydalo kaitinimo ir lydymo galvutę (1) sandarioje, valdomo klimato kameroje (10), kur

kaitinimo ir lydymo galvutės (1) kaitinimas ir temperatūros matavimas atliekamas tiekiant įtampą iš maitinimo šaltinio (6) žemos įtampos tiekimo dalies, o

elektrinis laukas tarp teigiamą potencialą turinčios kaitinimo ir lydymo galvutės (1) ir polimerinės pluoštinės matricos įžeminto pagrindo (5) sukuriamas naudojant maitinimo šaltinio (6) aukštos įtampos tiekimo dalį,

kur aukštos įtampos tiekimo sritis kaitinimo ir lydymo galvutėje (1) izoliuota nuo kaitinimo ir lydymo galvutės (1) kaitinimo elemento, kuriam yra tiekama žema įtampa, ir nuo visų kitų polimerinės pluoštinės matricos formavimo įrenginio elementų;

atstumas tarp polimero kaitinimo ir lydymo galvutės (1) ir pagrindo (5) keičiamas ribose nuo 2 mm iki 200 mm,

ir s k i r i a s i tuo, kad

formuojamos polimero pluoštinės matricos (11) pozicionavimas erdvėje valdomas trimatėje erdvėje, keičiant kaitinimo ir lydymo galvutės (1) padėtį x-z ašyse, išlydyto polimero nukreipimui iš apačios, nuo kaitinimo ir lydymo galvutės (1), į viršų, iki pagrindo (5), elektriniame lauke, ir papildomai keičiant polimerinės pluoštinės matricos įžeminto pagrindo (5) padėtį, kaitinimo ir lydymo galvutės (1) atžvilgiu, y ašyje,

kur polimerinės pluoštinės matricos struktūra keičiama keičiant atstumą nuo kaitinimo ir lydymo galvutės (1) iki įžeminto pagrindo (5),

kur mikropluošto gijų skersmuo ir matricos (11) paviršinių porų plotis mažėja didinant aukštos įtampos vertę tarp kaitinimo ir lydymo galvutės (1) ir matricos formavimo pagrindo (5),

kur polimero gija (3) lydoma polimero kaitinimo ir lydymo galvutėje (1) veikiant aukštai lydymo temperatūrai.

2. Polimerinės pluoštinės matricos formavimo būdas pagal 1 punktą, kur sandarioje, valdomo klimato kameroje (10) yra valdoma kameros (10) vidaus temperatūra, valdiklio (7) temperatūros kontrolės moduliui, ir oro drėgmė, valdiklio (7) oro drėgmės valdymo moduliui, kur klimatas kameroje (10) valdomas pavieniui arba derinant: šildymą, šaldymą, drėkinimą arba sausinimą.

3. Polimerinės pluoštinės matricos formavimo būdas pagal 1 arba 2 punktą, kur valdiklis (7) valdomo klimato kameroje (10) seka klimato sąlygas 1Hz dažniu ir atitinkamai parenka temperatūros ir drėgmės verčių kombinacijas, tinkamas polimero pluoštinės matricos (11) formavimui, kontroliuojamo klimato kameroje (10).

4. Polimerinės pluoštinės matricos formavimo būdas pagal bet kurį vieną ankstesnį punktą, kur valdiklis (7) taip pat atlieka polimero dozavimo priemonės (2) valdymą, kur minėtas valdymas apima polimero gijos tiekimo greičio valdymą 0,01–100 mm/min diapazone.

5. Polimerinės pluoštinės matricos formavimo būdas pagal bet kurį vieną ankstesnį punktą, kur kaitinimo ir lydymo galvutės (1) pozicionavimas apima jos valdymą y-z ašyse, greičiu nuo 1 iki 100 mm/s.

6. Polimerinės pluoštinės matricos formavimo būdas pagal bet kurį vieną ankstesnį punktą, kur tarp polimero kaitinimo ir lydymo galvutės (1) ir pagrindo (5) sudaroma aukšta įtampa ribose nuo 0,5 kV iki 30 kV.

7. Polimerinės pluoštinės matricos formavimo būdas pagal bet kurį vieną ankstesnį punktą, kur maitinimo šaltinis (6) automatiškai palaiko nustatytą įtampos lygį 100 Hz dažniu, matuodamas esamą įtampą ir parinkdamas aukštos įtampos

konverterio galią.

8. Polimerinės pluoštinės matricos formavimo būdas pagal bet kurį vieną ankstesnį punktą, kur maitinimo šaltinio (6) aukštos įtampos izoliuotos dalies elektros srovės įtampa yra 5–30 kV.

9. Polimerinės pluoštinės matricos formavimo būdas pagal bet kurį vieną ankstesnį punktą, kur į kaitinimo ir lydymo galvutę (1) tiekiamos polimero gijos skersmuo yra  $1,7 \text{ mm} \pm 0,2 \text{ mm}$ .

10. Polimerinės pluoštinės matricos formavimo būdas pagal bet kurį vieną ankstesnį punktą, kur atstumas nuo polimero gijos kaitinimo ir išlydymo galvutės (1) iki polimerinių pluoštinių matricų formavimui skirto įžeminto pagrindo (5) keičiamas nuo 5 iki 40 mm, tokiu žingsniu kaip 5 mm, 10 mm, 20 mm arba 40 mm.

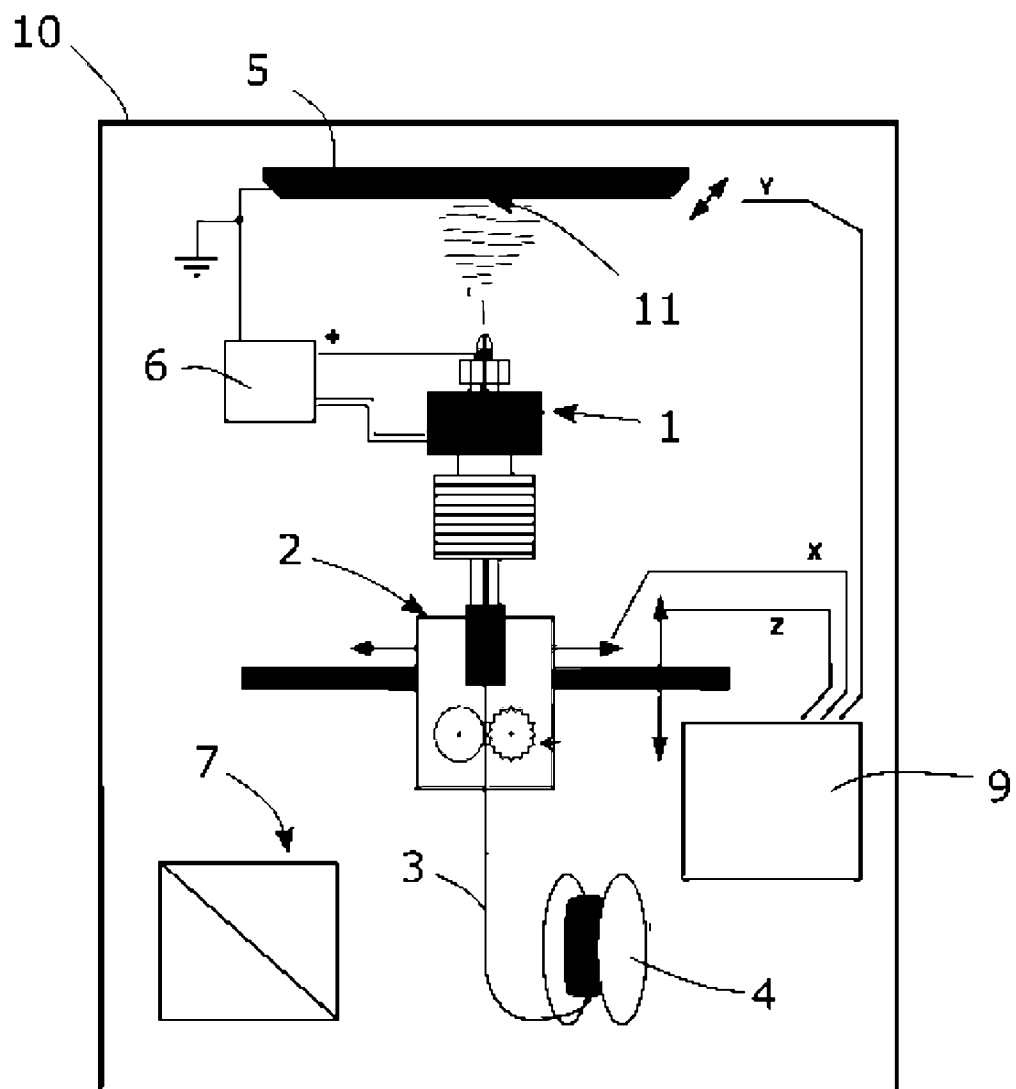
11. Polimerinės pluoštinės matricos formavimo būdas pagal bet kurį ankstesnį punktą, kur polimero tiekimo greitis dozavimo priemonėje (2) keičiamas nuo 4,8 iki 13,4 mg/min, tokiu žingsniu kaip 4,8 mg/min, 8,5 mg/min arba 13,4 mg/min.

12. Polimerinės pluoštinės matricos formavimo būdas pagal bet kurį ankstesnį punktą, kur aukštos įtampos, tarp teigiamą potencialą turinčios kaitinimo ir lydymo galvutės (1) ir polimerinės pluoštinės matricos įžeminto pagrindo (5), vertės keičiamos nuo 5 kV iki 28 kV, tokiu žingsniu kaip 5 kV, 10 kV, 15 kV, 20 kV, 25 kV arba 28 kV.

13. Polimerinės pluoštinės matricos formavimo būdas pagal bet kurį ankstesnį punktą, kur esant  $250 \text{ }^\circ\text{C}$  kaitinimo ir lydymo galvutės (1) temperatūrai, 20 mm atstumui tarp kaitinimo ir lydymo galvutės (1) ir pagrindo (5), esant 8,55 mg/min PCL tiekimo greičiui, keičiant aukštos įtampos vertę, tarp teigiamą potencialą turinčios kaitinimo ir lydymo galvutės (1) ir polimerinės pluoštinės matricos įžeminto pagrindo (5), polimerinės matricos gijų skersmuo kinta sekančiai: kai įtampos vertė yra 5 kV, gijos

skersmuo yra  $71 \pm 14 \mu\text{m}$ ; kai įtampos vertė yra 10 kV, gijos skersmuo yra  $34 \pm 5 \mu\text{m}$ ; kai įtampos vertė yra 15 kV, gijos skersmuo yra  $28 \pm 5 \mu\text{m}$ ; kai įtampos vertė yra 20 kV, gijos skersmuo yra  $21 \pm 3 \mu\text{m}$ .

14. Polimerinė pluoštinė matrica, gauta formavimo būdu pagal bet kurį ankstesnį punktą.



1 pav.