

(12) PARAIŠKOS APRAŠYMAS

(21) Paraiškos numeris: **2024 542**

(22) Paraiškos padavimo data: **2024-11-26**

(41) Paraiškos paskelbimo data: **2026-06-10**

(71) Pareiškėjas:

Vytauto Didžiojo universitetas, K. Donelaičio g. 58, LT-44248 Kaunas, LT
Valstybinis mokslinių tyrimų institutas Fizinių ir technologijos mokslų centras, Savanorių pr. 231, LT-02300 Vilnius, LT

(72) Išradėjas:

Tadas MATIJOŠIUS, LT
Juozas PADGURSKAS, LT
Valentinas SNITKA, LT
Ilja IGNATJEV, LT

(74) Patentinis patikėtinis/atstovas:

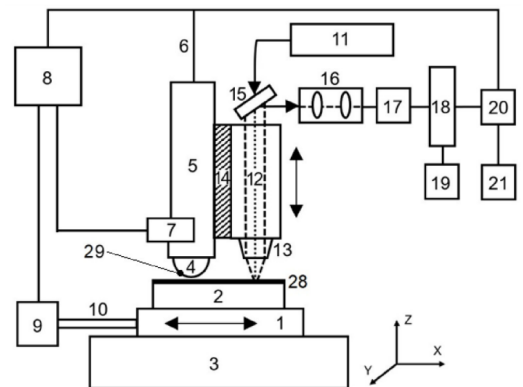
Reda ŽABOLIENĖ, 7, METIDA, Verslo centras „VERTAS“, Gynėjų g. 16, LT-01109 Vilnius, LT

(54) Pavadinimas:

Automatizuota nepertraukiamo tribologinės sistemos cheminių pokyčių registravimo sistema ir būdas

(57) Referatas:

Automatizuota nepertraukiamo tribologinės sistemos cheminių pokyčių registravimo sistema – tai sistema, skirta realiu laiku registruoti trinties paviršių ir (ar) tepimo medžiagų (28) cheminius pokyčius. Ji apima: tribologinę sistemą, kuri apima bandinį (2) ir priešpriešinį bandinį (4) arba nano-triboporos priešpriešinį bandinį (24); valdymo sistemą (8), kuri apima mechaninės apkrovos, judėjimo ir temperatūros judėjimo ir temperatūros parametrų tarp bandinio (2) ir priešpriešinio bandinio registravimą bei valdymą; Ramano spektroskopijos sistemą, skirtą Ramano sklaidos signalams registruoti, kai valdymo sistemos (8) integracija su Ramano spektroskopijos sistema suteikia galimybę nepertraukiamai stebėti vizualizuoti ir analizuoti cheminius pokyčius trinties paviršiuose ir (ar) tepimo medžiagose (28).



1 pav.

AUTOMATIZUOTA NEPERTRAUKIAMO TRIBOLOGINĖS SISTEMOS CHEMINIŲ POKYČIŲ REGISTRAVIMO SISTEMA IR BŪDAS

Technikos sritis

5 Išradimas priklauso medžiagų cheminės analizės sričiai, panaudojant Ramano spektroskopiją. Yra patentuojama sistema ir būdas trinties paviršių, tepimo ir kitų medžiagų pokyčiams nepertraukiamai registruoti.

Technikos lygis

10 Ramano spektroskopija yra neardomas medžiagų analizės būdas, suteikiantis išsamią informaciją apie molekulių funkcinį grupių savuosius virpesius realiu laiku. Ramano efekto dėka sąveikaujant sužadinančio lazerio fotonams su tiriamos medžiagos elektronais yra registruojamas Ramano spektras.

Tribologija yra tarpdisciplinis mokslas, tiriantis sąveikaujančių paviršių nusidėvėjimą, trintį ir tepimą santykinio judėjimo metu. Tarpusavyje kontaktuojančių paviršių trinčiai ir dilimui įtakos turi ne tik jų mechaninės, fizinės, struktūrinės medžiagų savybės bet ir jų cheminės transformacijos. Tepimo medžiagų gebėjimas slopinti paviršiaus trintį ir nusidėvėjimą įprastai pagrįstas triboplėvelių susidarymu. Triboplėvelės formuojasi dėl tribocheminių reakcijų įtakos ir gali būti skirtingos cheminės sudėties, struktūros ir pasižymėti skirtinga tribologine elgsena. Ramano spektroskopija yra vienas iš būdų registruoti virpesių pokyčius tribologinės sąveikos metu, ir naudojant Ramano sklaidos signalų spektrą, identifikuoti molekulinį struktūrų fizikinius-cheminius pokyčius. Šiuo būdu galima tirti daugumos medžiagų tame tarpe poringų sluoksnių, išskyrus vandenį, joninius junginius, kurioms būdinga silpna Ramano sklaida bei grynuosius metalus dėl jų atominės struktūros.

Anodavimas yra elektrocheminis procesas, kurio metu suformuojamas iki 100 μm ir daugiau poringas sluoksnis. Metalai, pavyzdžiui, aliuminis, magnis, titanas ir kt. elektrocheminės oksidacijos metu formuoja savitvarkes vertikalių porų matricas. Anodavimo būdu suformuotas sluoksnis yra atsparesnis trinčiai. Visgi, dėl vidinių įtempimų ir porų gausos anodinis sluoksnis gali pasižymėti mažu atsparumu ilgalaikiam mechaniniam poveikiui. Anodinio sluoksnio tribologinės savybės dėl jame esančių porų gali būti žymiai pagerintos naudojant tepimo medžiagas.

Japonijos patentas Nr. JP2024012157A aprašo įrenginį, kuris gali apšviesti tiriamąją medžiagą ir surinkti išsklaidytą Ramano spinduliuotę iš daugelio apšvietimo taškų bei gali greičiau atlikti bandinio Ramano analizę lyginant su įprastine konfokaline Ramano spektroskopija. Tarptautinis patentas Nr. WO1990007108A1 ir Europinis patentas Nr. EP0543578A1 aprašo nedispersinės Ramano sistemos įrenginį, kuriame naudojamas nedispersinis filtras skirtingai nuo dispersinio monochromatoriaus ir yra skirtas pasirinkti pageidaujamą dažnį, neskaidant skirtingų dažnių į kampų diapazoną, t.y. nedispersinis filtras leidžia pasirinkti dominančią Ramano išsklaidytos spinduliuotės spektro dalį aptikimui, o tai supaprastina įrenginį. Prancūzijos patentas Nr. FR2726365A1 aprašo įrenginį, kuris leidžia atkurti visą Ramano spektrą, sujungiant vidutinio dažnio ir aukšto dažnio dalis su žemo dažnio dalimi, kuri paprastai yra prarandama, todėl Ramano spektras suteikia daugiau informacijos apie molekulių funkcinių grupių virpesius lygiant su įprastais Ramano spektroskopijos įrenginiais. Visgi, nei vienas iš šių aprašytų įrenginių neturi galimybės nepertraukiamai registruoti trinties paviršių, tepimo ir kitų medžiagų pokyčių tribologinių bandymų metu.

Yra žinoma keletas išradimų, aprašančių medžiagų pokyčius tribologinės sąveikos metu, panaudojant Ramano spektroskopiją. Tarptautiniai patentai Nr. WO1997003346A1 ir WO1996010737A1, aprašo tiek plonų plėvelių, dangų, tiriamosios medžiagos (substrato) tribologinius pokyčius, tiek zondo atsaką deformacijoms, panaudojant zondą, kaip triboporos priešpriešinį bandinį, kuris perduoda lazerio signalą į paviršių ir surenka Ramano sklaidos signalą optiniu kabeliu ir yra skirtas įbrėžimo, įspaudimo bei tribologiniams bandymams atlikti. Skirtingai nuo aprašytų patentų mūsų išradimas pasižymi keliais privalumais: 1) Optinė sistema, kuri generuoja ir surenka Ramano sklaidos signalą yra atskirta nuo triboporos, o triboporos priešpriešinis bandinys nedalyvauja Ramano signalo detekcijoje, todėl tai leidžia išvengti priešpriešinio bandinio signalo detekcijos, kuris gali iškreipti tiriamosios medžiagos signalą. Pavyzdžiui, deimantinio zondo Ramano signalas gali persidengti ir blokuoti tiriamųjų medžiagų, t.y. grafeno arba amorfinės anglies tepamosiose ir kitose medžiagose, Ramano signalus; 2) Optinio kabelio panaudojimas lazerio signalo perdavimui ir išsklaidytos Ramano spinduliuotės surinkimui gali padidinti fluorescenciją bei slopinti Ramano sklaidos signalą; 3) Nepriklausoma Ramano sistema gali būti panaudojama trinties pokyčiams registruoti mikro-makro skalės trinties kontakto zonoje ir tinka įvairioms besitrinančioms detalėms mechaninėse sistemose.

Yra žinoma keletas publikacijų, kuriose buvo nagrinėjami tepimo medžiagų pokyčiai trinties zonoje, taikant Ramano spektroskopiją. *Praveena, M. ir kt.*, „*Total internal reflection Raman spectroscopy of poly(alpha-olefin) oils in a lubricated contact*“, *RSC Advances*, 2014, 4(42), 22205–22213, ištyrė sintetinės bazinės alyvos plėvelės storio pokyčius tribologiniame optinio stiklo ir silicio dioksido kontakte, taikant Ramano spektroskopiją. *Drabik, J. ir kt.*, „*The Use of Raman Spectroscopy to Monitor Changes in the Intensity of Ratio of Integral Unsaturated Bands in Bio-Greases*“, *Molecules*, 2023, 28(7), 3033, Ramano spektrometru stebėjo mineralinių alyvų ir augalinių aliejų pokyčius po mechaninio poveikio ir terminės oksidacijos. *Ulcinas, A. ir kt.* „*Shear response of nanoconfined water on muscovite mica: role of cations*“, *Langmuir*, 2011, 27(17), 10351–10355, tyrė vandens molekulių viskoelestinį atsaką į šlyties deformacijas subnanometriniame skalėje. Mūsų išradimas apima tepimo ir kitų medžiagų pokyčių nepertraukiamo registravimo būdą ir įrenginį trinties poros darbo metu, panaudojant Ramano spektroskopiją. Šis būdas pasižymi pranašumu, nes galima nepertraukiamai vertinti medžiagų tribologinius pokyčius tiesiogiai ne tik ant skaidrių, bet ir neskaidrių bei poringų paviršių.

Keletas išradimų aprašo galimybę nustatyti medžiagas bei jų koncentracijas poringuose sluoksniuose panaudojant Ramano spektroskopiją. JAV patentinėse paraiškose Nr. US2003/0231304A1 ir Nr. US7361313B2, aprašomi medžiagų nustatymo metodai ant poringo silicio panaudojant Ramano spektroskopiją. Visgi, medžiagų įsiskverbimas nebuvo nagrinėjamas. Sekanti publikacija pateikia dažų įsiskverbimo į anoduotą aliuminio foliją greičio matavimus, panaudojant Ramano spektroskopiją, kaip aprašyta *Matijošius, T. ir kt.*, „*Determination of the dye penetration rate in porous aluminum oxide using Raman spectroscopy*“, *Coloration Technology*, 2019, 135(4), 275–282. Nepaisant to, tyrimo metu nebuvo galybės nustatyti, kokiame gylyje aptinkama didžiausia medžiagos koncentracija. Atsižvelgus į aprašytus patentus ir publikacijas, mūsų išradimas suteikia galimybę nustatyti ir nepertraukiamai registruoti medžiagų įsiskverbimą poringame sluoksnyje keičiant lazerio spindulio židinio atstumą nuo poringo sluoksnio paviršiaus. Taip pat leidžia įvertinti santykinę medžiagos koncentraciją bei sąveiką su poringu sluoksniu.

30 Išradimo esmė

Išradimo tikslas – padidinti tribologinės sistemos savybių vertinimo efektyvumą, praplečiant registravimo sistemos galimybes, padidinant vertinamų charakteristikų kiekį

nepertraukiamai registruojant trinties paviršiaus, tepimo ir kitų medžiagų struktūros ir cheminius pokyčius tribologinės sąveikos metu panaudojant Ramano spektroskopiją.

Išradimo tikslas yra pasiekiamas automatizuota nepertraukiamo tribologinės sistemos cheminių pokyčių registravimo sistema, skirta trinties paviršių cheminiams pokyčiams realiu laiku registruoti, kuri apima: tribologinę sistemą, kuri apima triboporą, sudarytą iš bandinio ir priešpriešinio bandinio; valdymo sistemą valdančią ir registruojančią judėjimo, mechaninės apkrovos ir pasirinktinai temperatūros parametrus tarp bandinio ir priešpriešinio bandinio. Ramano sklaidos signalams registruoti naudojama Ramano spektroskopijos sistema. Papildomai ši sistema apima: valdymo sistemą, susietą su Ramano spektroskopijos sistema, kuri nepertraukiamai nuskaityti registruoja ir vizualizuoja realiu laiku triboporos trinties paviršių ir/ar tepimo medžiagos cheminius pokyčius.

Ši sistema, konkrečiai apima monochromatinės šviesos lazerį, zondą, objektyvo-kolimatorių, optinę fokusavimo sistemą, kompiuterį ir Ramano spektroskopijos sistemą, bei cheminio vizualizavimo sistemą. Medžiagų struktūros cheminių pokyčių registravimo sistema įgalina nepertraukiamai registruoti šiuos pokyčius ir nustatyti bandymų apkrovos režimus ir/ar bandymų trukmę kada šie pokyčiai prasideda ir kaip vyksta. Tai duoda galimybę objektyviau nustatyti bandomų medžiagų rekomenduojamus darbo režimus. Ši registravimo sistema negali būti naudojama medžiagoms, kurioms būdinga silpna Ramano sklaida arba jos nebuvimas, įskaitant grynuosius metalus, vandenį ir joninius junginius.

Šis būdas suteikia taip pat galimybę registruoti medžiagų įsiskverbimą poringame sluoksnyje.

Poringos struktūros paviršiai ir dangos gali būti suformuotos įvairiais būdais, įskaitant metalų ir jų lydinių anodavimą rūgštiniuose elektrolituose. Optimalus sluoksnio storis siekia nuo 5 iki 100 μm , o paviršiaus poringumas nuo 5 iki 80%. Plonesnis nei 5 μm storio poringas sluoksnis negali užtikrinti pakankamo medžiagos kiekio porose jos registravimui Ramano spektrometru. Jei porų gylis yra didesnis nei 100 μm , sluoksnio trapumas gali būti pernelyg didelis, o poros per gilios tiriamųjų medžiagų įsiskverbimui. Mažesnis nei 5% paviršiaus poringumas gali apriboti tiriamųjų medžiagų įsiskverbimą bei sąveiką su poringu sluoksniu. Priešingai, paviršiai, pasižymintys didesniu nei 80% poringumu, turi nepakankamą mechaninį patvarumą, yra linkę greitai suirti trinties metu. Tepamosios ar kitos medžiagos geba prasiskverbti į paviršiaus poras ir sąveikauti su jose esančiais junginiais. Impregnavimo medžiaga turi būti skysta, todėl, jei naudojamos kietos fazės tepimo medžiagos, temperatūra turi būti pakankamai aukšta, kad jos ištirptų. Tepimo

ir/arba kita medžiaga sąveikaudama su paviršiumi arba poringu sluoksniu trinties metu kinta suformuodama naujus junginius, kurie suteikia ryškius pokyčius Ramano spektre. Medžiagų įsiskverbimui poringuose sluoksniuose registruoti Ramano spektrinė analizė atliekama fokusuojant lazerio spindulį skirtingame gylyje nuo tiriamo paviršiaus, naudojant žingsnio dydį nuo 1 iki 10 μm , o didžiausias gylis gali siekti iki 100 μm .

Šia sistema yra galimas molekulinų virpesių nano-triboporoje registravimas, kai papildomai naudojamas kvarcinis arba piezokeraminis rezonatorius su zondų, kurio viršūnės spindulys yra iki 10 nm. Ši konstrukcija pasižymi tuo, kad trinties paviršiaus bei tepamųjų ir kitų medžiagų nanometrinių matmenų tribologiniai pokyčiai registruojami realiu laiku trinties poroje.

Šios aprašytos sistemos panaudojimo būdas apima sekančius žingsnius:

a) sistema paruošiama darbui: bandinys tvirtinamas bandinio laikiklyje ir priešpriešinys bandinys arba tvirtinamas priešpriešinio bandinio laikiklyje; pasirinktinai, tepimo medžiaga įterpiama tarp bandinio ir priešpriešinio bandinio, užtikrinanti trinties poros paviršių atskyrimą;

b) per valdymo sistemą atliekama trinties paviršių triboporos sąveika nustatytais parametrais, mechaninės apkrovos, judėjimo, trinties jėgos/momento registravimas, ir pasirinktinai temperatūros parametrų registravimas triboporos artimoje kontaktui zonoje;

c) Ramano spektroskopijos sistema, fiksuoja ir vizualizuoja triboporos bandiniuose įvykusius spektrinius pokyčius.

Trinties paviršių poros sąveika vyksta nepertraukiamai per valdymo sistemą, dėl to triboporos medžiagos sąveikaudamos, trinties metu kinta arba formuoja naujus cheminius junginius, kurie suteikia ryškius pokyčius Ramano spektre, ir šiuos pokyčius triboporos bandinyje realiu laiku registruoja ir vizualizuoja nepertraukiamai Ramano spektroskopijos sistema.

Trumpas brėžinių aprašymas

1 pav. pavaizduota sistema, skirta tribologinės sistemos sukeltų trinties paviršių, tepimo ir kitų medžiagų pokyčiams nepertraukiamai registruoti, kai žadinančio lazerio spindulys ir surenkamas Ramano sklaidos signalas yra lygiagretūs tarpusavyje ir statmeni trinties paviršiui, o bandinys juda linijiniu slenkamuuju-grįžtamuoju judesiu.

2 pav. pavaizduota sistema, skirta tribologinės sistemos sukeltų trinties paviršių, tepimo ir kitų medžiagų pokyčiams nepertraukiamai registruoti, kai žadinančio lazerio

spindulys ir surenkamas Ramano sklaidos signalas yra lygiagretūs tarpusavyje ir statmeni trinties paviršiui, o bandinys juda sukamuoju judesiu.

3 pav. pavaizduota sistema, skirta tribologinės sistemos sukeltų trinties paviršių, tepimo ir kitų medžiagų pokyčiams nepertraukiamai registruoti, kai tarp žadinančio lazerio spindulio ir surenkamo Ramano sklaidos signalo yra 90° kampas.

4 pav. pavaizduota sistema, skirta tepimo medžiagų pokyčiams nepertraukiamai registruoti bandant keturių rutulių trinties mašina.

5 pav. pavaizduota sistema, skirta tribologinės sistemos sukeltų tepimo ir kitų medžiagų pokyčiams nepertraukiamai registruoti atominame lygmenyje.

6 pav. pavaizduota anodinės dangos, impregnuotos oleino rūgštimi, Ramano spektrai prieš ir po įvairaus ciklų skaičiaus tribologinio poveikio 30 N apkrova.

7 pav. pavaizduota anodinės dangos, impregnuotos metiloleatu, Ramano spektrai prieš ir po įvairaus ciklų skaičiaus tribologinio poveikio 30 N apkrova.

8 pav. pavaizduota anodinės dangos, impregnuotos hialurono rūgštimi, Ramano spektrai prieš ir po įvairaus ciklų skaičiaus tribologinio poveikio 30 N apkrova.

9 pav. pavaizduota anodinių dangų, impregnuotų metiloleatu, oleino ir hialurono rūgštimis, Ramano spinduliavimo intensyvumo $1655\text{--}1660\text{ cm}^{-1}$ ir 985 cm^{-1} virpesių dažniu priklausomybė nuo trinties ciklų skaičiaus, kai apkrova yra 30 N.

10 pav. pavaizduoti anodinių dangų, impregnuotų oleino rūgštimi, Ramano spektrai prie 10 N, 30 N ir 50 N apkrovų.

11 pav. pavaizduoti anodinių dangų, impregnuotų metiloleatu, Ramano spektrai prie 10 N, 30 N ir 30 N apkrovų.

12 pav. pavaizduota anodinių dangų, impregnuotų oleino rūgštimi ir metiloleatu, Ramano spinduliavimo intensyvumo $1655\text{--}1660\text{ cm}^{-1}$ virpesių dažniu priklausomybė nuo apkrovos.

13 pav. pavaizduota anodinių dangų, impregnuotų oleino rūgštimi, Ramano spektrai be trinties poveikio ir po 5000 trinties poveikio ciklų prie 10 N apkrovos.

14 pav. pavaizduota anodinės dangos Ramano spektrai įvairiame gylyje.

15 pav. pavaizduota anodinės dangos, impregnuotos oleino rūgštimi, Ramano spektrai įvairiame gylyje.

16 pav. pavaizduota neimpregnuotų anodinių dangų ir impregnuotų oleino rūgštimi Ramano spinduliavimo intensyvumo 1070 ir 1440 cm^{-1} virpesių dažniu priklausomybė nuo gylio.

1 – bandinio laikiklis; 2 – bandinys; 3 – stalelis; 4 – priešpriešinis bandinys; 5 – priešpriešinio bandinio laikiklis; 6 – apkrova; 7 – trinties jėgos jutiklis; 8 – valdymo sistema; 9 – variklis; 10 – pavara; 11 – monochromatinės šviesos lazeris; 12 – zondas; 13 – objektyvas-kolimatorius; 14 – izoliacinė medžiaga; 15 – juostinis pralaidumo/įpjovos
5 filtras; 16 – optinė fokusavimo sistema; 17 – monochromatorius; 18 – linijinis krūvio sąsajos įtaiso (CCD) jutiklis; 19 – aušinimo sistema; 20 – kompiuteris; 21 – Ramano spektro ir cheminio vizualizavimo sistema; 22 – 2D pjezoelektrinė pavara; 23 – kvarcinis arba piezokeraminis rezonatorius; 24 – zondas, kaip nano-triboporos priešpriešinis bandinys; 25 – pjezoelektrinė pavara Z ašimi; 26 – šviesolaidinis optinis nanoplaušto kabelis; 27 – fotonų
10 skaitliukas; 28 – tepimo medžiaga; 29 – temperatūros jutiklis.

Detalus išradimo aprašymas, remiantis brėžiniais

Automatizuota nepertraukiamo tribologinės sistemos cheminių pokyčių registravimo sistema, apima triboporą, sudarytą iš bandinio 2 ir priešpriešinio bandinio 4, trinties jėgos jutiklį 7, skirtą registruoti mechaninę trintį tarp triboporos. Valdymo sistemą 8, susietą su trinties jėgos jutikliu 7, kai yra, temperatūros jutikliu 29 ir valdančią judėjimą ir mechaninę apkrovą tarp bandinio 2 ir priešpriešinio bandinio 4. Ramano spektroskopijos sistemą, skirtą Ramano sklaidos signalams registruoti. Papildomai apima: triboporą, kuri tarpusavyje nuolat kontaktuoja esant mechaninei apkrovai ir judesiui. Ramano
15 spektroskopijos sistemą su nepertraukiamo registravimo funkcija, susietą su valdymo sistema 8, su galimybe realiu laiku registruoti triboporos trinties paviršių ir/ar tepimo medžiagų 28 cheminius pokyčius.

Molekuliniams virpesiams nanotribologineje poroje registruoti sistema papildomai apima kvarcinį arba piezokeraminį rezonatorių 23 su nano-triboporos priešpriešiniu bandiniu 24, kurio viršūnės spindulys yra iki 10 nm.
25

Detalizuotas, automatizuotos nepertraukiamo tribologinės sistemos cheminių pokyčių registravimo sistemos, pavyzdys, kuris apima: stalelį 3, ant kurio yra tvirtinamas bandinio laikiklis 1, kuriame tvirtinamas bandinys 2, variklį 9, pavara 10, priešpriešinį bandinį 4 (su pasirinktinai pritvirtintu arti trinties zonos temperatūros jutikliu 29), įtvirtintą priešpriešinio bandinio laikiklyje 5, apkrovą 6, trinties jėgos jutiklį 7, valdymo sistemą 8, Ramano spektroskopijos sistemą, kuri apima monochromatinės šviesos lazerį 11, zondą 12 kuris apima objektyvą-kolimatorių 13, izoliacinę medžiagą 14, juostinį pralaidumo/įpjovos filtrą 15, optinę fokusavimo sistemą 16, monochromatorių 17, linijinį krūvio sąsajos įtaiso
30

(CCD) jutiklį 18, aušinimo sistemą 19, kompiuterį 20, Ramano spektro ir cheminio vizualizavimo sistemą 21 (1-3 pav.).

Papildomai molekuliniams virpesiams nano-triboporoje registruoti naudojamas kvarcinis arba piezokeraminis rezonatorius 23 su nano-triboporos priešpriešiniu bandiniu 24, kurio viršūnės spindulys yra iki 10 nm. Ši konstrukcija pasižymi tuo, kad trinties paviršiaus bei tepamųjų ir kitų medžiagų tribologiniai pokyčiai registruojami realiu laiku nanometrinių matmenų trinties poroje.

Šios konstrukcijos pavyzdys apima: stalėlį 3, ant kurio yra pjezoelektrinė pavara 22 su bandinio laikikliu 1, kuriame tvirtinamas bandinys 2, Z ašies kryptimi veikiančią trinties mazgą, sudarytą iš kvarcinio arba piezokeraminio rezonatoriaus 23 ir nano-triboporos priešpriešinių bandinių 24, pjezoelektrinės pavaros 25 Z ašimi, valdymo sistemą 8, Ramano spektroskopijos sistemą, kuri apima monochromatinės šviesos lazerį 11, šviesolaidinę optinę nanoplušto kabelį 26, zondą 12, objektyvą-kolimatorių 13, juostinį pralaidumo/įpjovos filtrą 15, optinę fokusavimo sistemą 16, monochromatorių 17, linijinį CCD jutiklį 18, aušinimo sistemą 19, kompiuterį 20, Ramano spektro ir cheminio vizualizavimo sistemą 21 (5 pav.). Priklausomai nuo konfigūracijos Ramano sklaidos signalas gali būti surenkamas 5° iki 90° kampų, optimaliausiai 45° kampų.

Išradimo realizavimas

Bandinio laikiklyje 1 tvirtinamas bandinys 2 įtvirtintame stalelyje 3. Suteikus apkrovą 6 priešpriešinio bandinio laikiklis 5 su nejudamu trinties elementu, t.y. priešpriešiniu bandiniu 4, statmenai spaudžia apatinį bandinį su atitinkama jėga, kuri gali būti statinė arba kintama. Trinties jėga registruojama trinties jėgos jutikliu 7, kuri perduodama į valdymo sistemą 8. Variklio 9 valdoma pavara 10 suteikia judesį bandinio laikikliui 1, tuo pačiu ir bandiniui 2. Bandinio 2 judesys gali būti linijinis slenkamas - grįžtamas (1 pav.) arba sukamasis (2 pav.). Monochromatinės šviesos lazeris 11 zonu 12 ir objektyvu-kolimatoriumi 13 yra nukreipiamas ir sufokusuojamas į paviršiaus trinties zoną, laikant pagrindiniu tiriamuoju objektu apatinį bandinį 2. Zondas 12, perstumiamas Z ašies kryptimi, keičia lazerinio spindulio fokusavimo padėtį paviršiaus atžvilgiu. Keičiant šią padėtį galima registruoti Ramano spektrą tepimo medžiagos, trinties paviršiaus, o taip pat bandinio medžiagos tam tikrame gylyje (iki $100 \mu\text{m}$). Kai zondas 12 yra tvirtinamas prie priešpriešinio bandinio laikiklio tarp jų gali būti naudojama izoliacinė medžiaga 14, kaip putų polistirolas, kuri sumažina mechanines vibracijas dėl trinties poveikio. Aprašyta

sistema taip pat registruoja tepimo ir/ar kitų medžiagų išsiskverbimą fokusuojant lazerio spindulį skirtingame gylyje nuo tiriamo paviršiaus. Ramano sklaidos signalas registruojamas kai žadinančio lazerio spindulys ir surenkamas Ramano sklaidos signalas yra lygiagretūs tarpusavyje ir statmeni trinties paviršiui (1, 2 pav.), norint registruoti tepimo ar kitų medžiagų koncentracijos pokyčius skirtingame gylyje bei jų išsiskverbimą. Žadinantis lazerio spindulys ir surenkamas Ramano sklaidos signalas gali būti nukreipiami ir surenkami kampu α nuo trinties paviršiaus (3 pav.). Toks žadinančio lazerio spindulio ir surenkamo Ramano sklaidos signalo kampų α parinkimas gali būti naudojamas Ramano sklaidos signalui nuo trinties paviršiaus registruoti esant labai mažoms judesio amplitudėms, tačiau priešpriešinį bandinys turėtų neblokuoti žadinančio lazerio spindulio ir Ramano sklaidos signalo.

Ramano sklaidos signalas nuo trinties paviršiaus yra surenkamas ir per juostinį pralaidumo/įpjovos filtrą 15 perduodamas į optinę fokusavimo sistemą 16 bei monochromatorių 17. Monochromatorius išskaido Ramano spinduliuotę į atskirus bangos ilgius prieš nukreipdamas ją į linijinį CCD jutiklį 18. CCD jutiklis yra fotodetektorius, kuris registruoja išsklaidytos Ramano spinduliuotės spektrą ir matuoja jos intensyvumą priklausomai nuo bangos ilgio. Aušinimo sistema 19 naudojama CCD jutikliui aušinti, tai slopina CCD jutiklio elektroninius triukšmus. Ramano sklaidos spektro duomenys kompiuteriu 20 yra skaitmeninami ir atvaizduojami grafiškai naudojant specializuotą programinę įrangą. Ramano spektro ir cheminio vizualizavimo sistema 21 suteikia galimybę sukurti 3D vizualinį cheminių komponentų pasiskirstymo vaizdą, remiantis molekulinėmis vibracijomis.

Sistema, tepimo ir kitų medžiagų pokyčiams registruoti bandant keturių rutulių būdu ir taikant Ramano spektroskopiją, (4 pav.) apima: bandinio laikiklį 1, judamą bandinį (rutulį) 2, nejudamai įtvirtintą laikiklyje 5, priešpriešinio bandinio 4 sudaryto iš trijų rutulių, trinties jėgos jutiklį 7, variklį 9, apkrovą 6, valdymo sistemą 8, monochromatinės šviesos lazerį 11, zondą 12, objektyvo-kolimatorių 13, juostinį pralaidumo/įpjovos filtrą 15, optinę fokusavimo sistemą 16, monochromatorių 17, linijinį CCD jutiklį 18, aušinimo sistemą 19, kompiuterį 20 ir Ramano spektro ir cheminio vizualizavimo sistemą 21. Bandinio laikiklyje 1 tvirtinamas bandinys 2. Suteikus apkrovą 6 ir sukant bandinio laikiklį 1 su bandiniu 2 jis spaudžia priešpriešinį trijų rutulių bandinį 4, nejudamai įtvirtintą laikiklyje 5 su tepimo medžiaga 28 (į kurią pasirinktinai įterpiamas temperatūros jutiklis 29). Trinties jėga matuojama jutikliu 7 ir perduodama į valdymo sistemą 8. Monochromatinės šviesos lazeris

11 zonu 12 ir objektyvu-kolimatoriumi 13 yra nukreipiamas ir sufokusuojamas į trinties zoną tarp bandinio 2 ir priešpriešinio trijų rutulių bandinio 4. Ramano sklaidos spinduliuotės pluoštas nuo trinties zonos paviršiaus yra surenkamas ir objektyvu-kolimatoriumi 13, kuris užtikrina lygiagrečių spinduliuotės srautą, kuris yra perduodamas per juostinį pralaidumo/įpjovos filtrą 15, į optinę fokusavimo sistemą 16 bei monochromatorių 17. Monochromatorius išskaido išsklaidytą Ramano spinduliuotę į atskirus bangos ilgius prieš nukreipdamas ją į linijinį CCD jutiklį 18, kuris šaldomas aušinimo sistema 19. Ramano sklaidos spektro duomenys kompiuteriu 20 suskaitmeninami ir atvaizduojami grafiku naudojant specializuota programine įranga. Ramano spektro ir cheminio vizualizavimo sistema 21 suteikia galimybę sukurti 3D vizualinį cheminių komponentų pasiskirstymo vaizdą, remiantis molekulinėmis vibracijomis.

Molekulinių virpesių pokyčiams nanomatmenų tribologineje poroje registruoti naudojama 2D pjezoelektrinė pavara 22, kuri judina bandinį 2 X-Y ašies kryptimis (5 pav.). Bandinio paviršius skenuojamas kontaktuojant su zonu, kaip nano-triboporos priešpriešiniu bandiniu 24, kurio viršūnės spindulys siekia mažiau negu 10 nm, pritvirtintu prie kvarcinio rezonatoriaus 23, kuris kontroliuojamas pjezoelektrine pavara 25 per valdymo sistemą 8, panaudojant Z koordinatės grįžtamąjį ryšį. Šiuo būdu galima registruoti trinties jėgas nanoskalės bei mikroskalės lygmenyse. Monochromatinės šviesos lazeris 11 yra nukreipiamas ir sufokusuojamas į bandinio paviršių, panaudojant kūginio tipo šviesolaidinį optinį nanopluošto kabelį 26, kurio viršūnės skersmuo yra mažesnis nei 100 nm, todėl Ramano sklaidos signalas surenkamas lokaliai iš kontakto zonos dėl artimo lauko efekto, esant apie 10 nm atstumui. Ramano sklaidos spinduliuotės pluoštas nuo trinties zonos paviršiaus yra surenkamas ir objektyvu-kolimatoriumi 13, kuris užtikrina lygiagrečių spinduliuotės srautą, perduodamas per juostinį pralaidumo/įpjovos filtrą 15, blokuojantį lazerio signalą atspindėtą nuo bandinio ir perduodantį tik tam tikro bangų ilgių diapazono Ramano sklaidos signalą į optinę fokusavimo sistemą 16 bei monochromatorių 17, kuris išskaido išsklaidytą Ramano spinduliuotę į atskirus bangos ilgius prieš nukreipdamas ją į CCD jutiklį 18. Monochromatorių skiriamąją gebą nulemia difrakcinė gardelė. Ramano sklaidos signalo išskyrimas gali būti realizuojamas dviem būdais: (I) naudojama pozicionuojama difrakcinė gardelė su 2D tipo CCD jutikliais; (II) naudojamas linijinis CCD jutiklis kartu su integruotais lavininiais fotodiodais. Labai silpnų Ramano sklaidos signalų registravimui naudojamas fotonų skaitliukas 27. Ramano sklaidos spektro duomenys kompiuteriu 20 skaitmenizuojami ir atvaizduojami grafiškai. Ramano spektro ir cheminio

vizualizavimo sistema 21 suteikia galimybę sukurti 3D vizualinį cheminių komponentų pasiskirstymo vaizdą, remiantis molekulinėmis vibracijomis.

Pavyzdžiai

5 15 mm skersmens ir 2 mm storio 99,67% 1050 markės aliuminio lydiniai iš UAB FXB-Niemet (Lietuva) ęsdinti šarminiame tirpale sudarytame iš 30 g/l natrio hidroksido + 25 g/l natrio fosfato + 75 g/l natrio karbonato 30–60 s prie 60°C. Po plovimo dejonizuotame vandenyje bandiniai laikomi 1–2 min. 10% azoto rūgštyje ir plaunami dejonizuotame vandenyje, siekiant pašalinti aluminatus ir aktyvuoti paviršių prieš anodavimą. Bandiniai anoduoti 18% sieros rūgšties ir 2% oksalo rūgšties elektrolite esant 0,4% aliuminio jonų koncentracijai 70 min. prie 15°C ir 200 A/m² anodinės srovės tankio, siekiant suformuoti 50-60 µm storio anodinį aliuminio oksido sluoksnį su didesniu nei 5% paviršiaus poringumu. Po anodavimo bandiniai panardinami į ultragarsinę vonelę VTUSC3 (Velleman, Belgija) ir valomi dejonizuotame vandenyje 10 min. prie 20–25°C, esant 35 kHz dažniui ir 65 W galiai. Tada bandiniai džiovinami 60 min. prie 60°C. Bandiniai impregnuojami vonelėje su 70% oleino rūgšties, 60% metiloleato bei 1% hialurono rūgšties vandeninio tirpalo užpildais 60 min. 90°C temperatūroje be maišymo. Išėmus ir vonelės bandiniai laikomi vertikaloje padėtyje bent 60 min. toje pačioje temperatūroje, siekiant užtikrinti tolygų užpildo pasiskirstymą.

20 Anodinio sluoksnio su tepimo medžiagomis tribologinės charakteristikos tirtos trinties mašina taikant schemą „rutulys plokštuma“. Naudoti 6 mm skersmens 99,8 % korundo rutuliukai (RGP International Srl, Italija). Rutuliukų prispaudimo jėga 10 – 50 N, slydimo greitis 2 cm/s, trinties ciklo ilgis 8 mm, ciklų skaičius 1000 ir 5000 ciklų.

Tepimo medžiagų įsiskverbimas į anoduotą paviršių. Aliuminio anodavimas. 50 µm storio ir 99,95% grynumo aliuminio folija ęsdinama šarminiame tirpale (30 g/l natrio hidroksidas + 25 g/l natrio fosfatas + 75 g/l natrio karbonatas) 30–60 s prie 60°C. Po plovimo dejonizuotame vandenyje aliuminio folija laikoma 1–2 min. 10% azoto rūgštyje ir plaunama dejonizuotame vandenyje, siekiant pašalinti aluminatus ir aktyvuoti paviršių prieš anodavimą. Aliuminio folija anoduojama 18% sieros rūgšties ir 2% oksalo rūgšties elektrolite esant 0,4% aliuminio jonų koncentracijai 70 min. prie 15°C ir 200 A/m² anodinės srovės tankio, siekiant suformuoti 70 µm storio anodinį aliuminio oksido sluoksnį su 8% paviršiaus poringumu. Po anodavimo aliuminio folija ęsdinama 4% fosforo rūgšties tirpale 40 min., plaunama dejonizuotame vandenyje ir džiovinama 60 min. prie 60°C. ~10 µL

oleino rūgšties arba metiloleato tepamųjų medžiagų užlašinama ant anoduotos folijos ir po 24 val. užrašomas Ramano spektras pašalinus medžiagų perteklių nuo paviršiaus mikropluošto popieriumi.

Tepimo medžiagų pokyčiams bei spektrams registruoti naudojamas Ramano
 5 spektrometras su konfokaliniu mikroskopu inVia (Renishaw, JK). Kaip sužadavimo šaltinis naudojamas 785 nm bangos ilgio ir vidutinės galios diodinis lazeris su termoelektriniu būdu aušinamu (-70°C) CCD jutikliu. Lazerio spindulį sufokusuoja į $\sim 1\ \mu\text{m}$ skersmens ploto anodinio sluoksnio paviršių, naudojant $50\times/0,50\ \text{NA}$ ilgo židinio nuotolio objektyvą. Tepimo medžiagų įsiskverbimui 785 nm lazerio spindulį sufokusuoja statmenai trinties
 10 paviršiui ir įsiskverbimo gylis registruojamas keičiant lazerio fokusavimo atstumą $0\text{--}54\ \mu\text{m}$ gylyje, naudojant $6\ \mu\text{m}$ žingsnio intervalą. Ramano spektrams užrašyti naudojama 1200 linijų/mm difrakcinė gardelė, esant spektrų kaupimo laikui $100\text{--}300\ \text{s}$. Ramano spektrų bangos skaičių ašis kalibruoja pagal Si Ramano sklaidos spektrą esant $520,7\ \text{cm}^{-1}$.

Poringas anodinis sluoksnis pasižymi žemu Ramano signalo intensyvumu su mažo
 15 intensyvumo $980\ \text{cm}^{-1}$ ir $1060\text{--}1070\ \text{cm}^{-1}$ smailėmis (6 pav.). Tai atitinka SO_4^{2-} grupių ir C–C valentinių virpesių juostas, kurios atsiranda dėl porose esančių sulfato bei oksalato priemaišų. Tepamųjų medžiagų intensyvumas yra ženkliai aukštesnis, todėl Ramano spektre išsiskiria keletas aukšto intensyvumo juostų, įskaitant $1060\text{--}1070\ \text{cm}^{-1}$ C–C valentinių virpesių, $1305\text{--}1310\ \text{cm}^{-1}$ CH_2 grupės virpesių, $1440\text{--}1450\ \text{cm}^{-1}$ CH_2 grupės deformacinių
 20 virpesių ir $1655\text{--}1660\ \text{cm}^{-1}$ C=C valentinių virpesių modas, kurios yra siejamos tiek su oleino rūgšties (6 pav.), tiek su metiloleato (7 pav.) anglies grandinės vibracijomis. Be to, trinties metu stebimas spektro poslinkis į didesnių virpesių dažnių sritį. Didesnis poslinkis susijęs su stipresne tepamųjų medžiagų sąveika su anodiniu oksido sluoksniu. Hialurono rūgšties Ramano spektre registruojamos dvi intensyvios smailės prie $985\ \text{cm}^{-1}$ ir $1070\text{--}1075$
 25 cm^{-1} atitinkamai susijusios su angliavandenių ir C–C valentinių virpesių modomis (8 pav.). Trinties metu vykstantys oleino rūgšties, metiloleato ir hialurono rūgšties spektrų pokyčiai registruojami Ramano spektrometru po 100, 500 ir 1000 trinties ciklų. Visais atvejais didėjant ciklų skaičiui stebimas tiesinis Ramano intensyvumo mažėjimas su $P < 0,05$ statistiniu reikšmingumu (9 pav.). Šiuo atveju pasirenkamos svarbiausios (būdingos)
 30 tepamųjų medžiagų virpesių juostos bei nustatomas oleino rūgšties ir metiloleato smailių plotas prie $1655\text{--}1660\ \text{cm}^{-1}$, hialurono rūgšties – prie $985\ \text{cm}^{-1}$. Hialurono rūgšties Ramano signalo intensyvumas atitinkamai mažėja 1,3 ir 1,5 karto greičiau lyginant su oleino rūgštimi

bei metiloleatu. Tai rodo ženkliai spartesnę hialurono rūgšties tepamųjų junginių degradaciją trinties metu.

Įvertintas apkrovos poveikis oleino (10 pav.) ir metiloleato (11 pav.) tepamųjų medžiagų Ramano pokyčiams trinties metu. Didinant apkrovą nuo 10 N iki 50 N stebimas stipresnis Ramano intensyvumas dėl didesnio tarpfazinio slėgio paviršius kontakto plote. Įvertinus smailių plotą prie $1650\text{--}1660\text{ cm}^{-1}$ registruojamas 1,4 karto spartesnis Ramano signalo augimas naudojant metiloleato užpildą (11 pav.). Intensyvumas didėja tiesiškai esant $P < 0,05$ statistiniam reikšmingumui. Šie Ramano intensyvumo pokyčiai siejami su didesniu medžiagos atsparumu bei gebėjimu priešintis trinčiai.

Tribologinės sąveikos metu gali kisti ne tik tepamųjų medžiagų Ramano spektro intensyvumas, bet ir gali atsirasti 14ų smailių arba įvykti Ramano smailės poslinkis dėl tribocheminės sąveikos su anodiniu oksido sluoksniu trinties metu. Anodinių sluoksnių impregnuotų su oleino rūgštimi Ramano spektre stebimos naujai susidariusios žemo intensyvumo smailės prie 1130 cm^{-1} ir 1145 cm^{-1} , kurios atitinka *trans* konfigūracijos C–C karboksirūgščių ir C–C valentinių virpesių modas po 5000 trinties ciklų esant 10 N apkrovai (13 pav.). Kartu stebimas C–C valentinių virpesių smailės poslinkis į didesnių virpesių dažnių sritį nuo 1061 cm^{-1} iki 1070 cm^{-1} bei nuo 1064 cm^{-1} iki 1074 cm^{-1} atitinkamai naudojant oleino rūgšties (13 pav.) bei metiloleato (13 pav.) užpildus. CH_2 grupės deformacinių virpesių juostos oleino rūgšties atveju slenkasi į mažesnių virpesių dažnių sritį nuo 1446 cm^{-1} iki 1438 cm^{-1} , metiloleato atveju į didesnių virpesių dažnių sritį nuo 1438 cm^{-1} iki 1446 cm^{-1} .

Tepamųjų medžiagų gebėjimas įsiskverbti į anodinio sluoksnio poras tribologiniu požiūriu yra svarbus parametras, užtikrinantis tolygų medžiagų išsilaisvinimą trinties metu bei didesnę atsparumą dilimui. Ramano spektroskopija oleino rūgšties ir metiloleato tepamųjų medžiagų skvarbos į $70\text{ }\mu\text{m}$ storio anoduotą aliuminio foliją. Anodinio sluoksnio be užpildo Ramano spektre stebima tik mažo intensyvumo SO_4^{2-} grupių valentinių virpesių moda prie 980 cm^{-1} (14 pav.). Impregnuotų sluoksnių su oleino (15 pav.) ir metiloleato (16 pav.) užpildais Ramano spektruose stebimos intensyvios C–C valentinių virpesių ir CH_2 deformacinių virpesių juostos atitinkamai prie $1060\text{--}1070\text{ cm}^{-1}$ ir 1440 cm^{-1} , kurios nėra aptinkamos anodiniame sluoksnyje. Tepamųjų medžiagų įsiskverbimas $0\text{--}54\text{ }\mu\text{m}$ gylyje nustatomas įvertinus smailių plotą prie 1440 cm^{-1} . Didžiausias Ramano intensyvumas stebimas $20\text{--}25\text{ }\mu\text{m}$ dangos gylyje ir yra siejamas su didžiausia medžiagos koncentracija

anodinio sluoksnio porose (17 pav.). Impregnuotų paviršių Ramano signalo intensyvumas yra daugiau nei keturis kartus didesnis lyginant su anodiniu sluoksniu.

Pritaikomumas

- 5 Aprašyta sistema nepertraukiamai analizuoja tribologinės sistemos pokyčius trinties metu, todėl galima stebėti tiek trinties paviršiaus, tiek tepimo medžiagų funkcinių grupių kitimą laike, tuo pačiu identifikuoti tribocheminių reakcijų iššauktus medžiagų pokyčius, o taip pat registruoti tepimo ir kitų medžiagų skverbimąsi į dangos poras bei registruoti šių medžiagų koncentraciją priklausomai nuo Ramano signalo intensyvumo, ir remiantis
- 10 gautais rezultatais praktiškai optimizuoti ir parinkti tribologinio proceso parametrus, siekiant minimizuoti triboporos dilimą bei trinties nuostolius.

Išradimo apibrėžtis

1. Automatizuota nepertraukiamo tribologinės sistemos cheminių pokyčių registravimo sistema, skirta trinties paviršių cheminiams pokyčiams realiu laiku registruoti, kuri apima: tribologinę sistemą, kuri apima triboporą, sudarytą iš bandinio (2) ir priešpriešinio bandinio;

5 valdymo sistemą (8) valdančią ir registruojančią judėjimo, mechaninės apkrovos, ir pasirinktinai temperatūros parametrus tarp bandinio (2) ir priešpriešinio bandinio; Ramano spektroskopijos sistemą, skirtą Ramano sklaidos signalams registruoti;

b e s i s k i r i a n t i t u o, kad papildomai apima: valdymo sistemą (8), susietą su Ramano spektroskopijos sistema, kuri gali nepertraukiamai

10 nuskaityti, registruoti ir vizualizuoti realiu laiku triboporos trinties paviršių cheminius pokyčius.
2. Automatizuota nepertraukiamo tribologinės sistemos cheminių pokyčių registravimo sistema pagal 1 punktą b e s i s k i r i a n t i t u o, kad tribologinė sistema papildomai apima

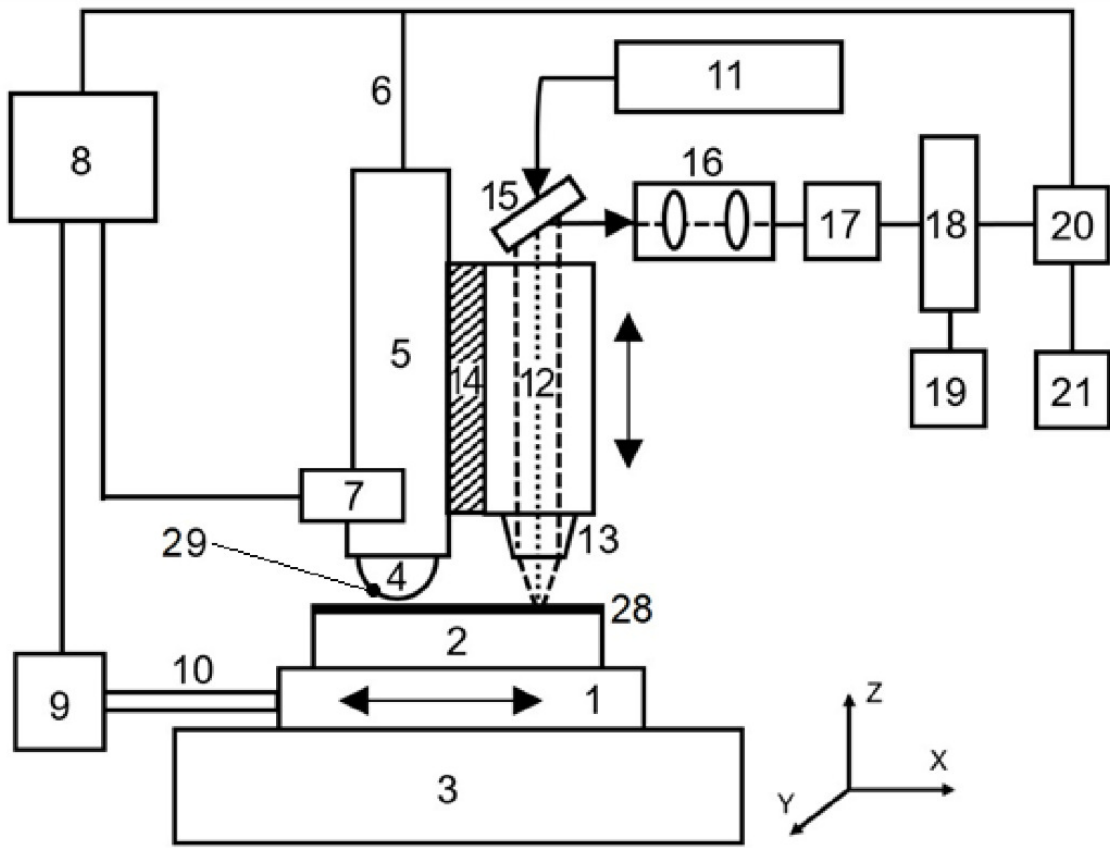
15 tepimo medžiagą (28).
3. Automatizuota nepertraukiamo tribologinės sistemos cheminių pokyčių registravimo sistema pagal bet kurį ankstesnių punktų b e s i s k i r i a n t i t u o, kad šia sistema tiriamos triboporos trinties paviršių dangos yra suformuotos įvairiais būdais, įskaitant metalų ir jų

20 lydinių anodavimą rūgštiniuose elektrolituose, kai sluoksnio storis siekia nuo 5 iki 100 μm , o paviršių poringumas nuo 5 iki 80%.
4. Automatizuota nepertraukiamo tribologinės sistemos cheminių pokyčių registravimo sistema pagal bet kurį iš ankstesnių punktų, b e s i s k i r i a n t i t u o, kad Ramano

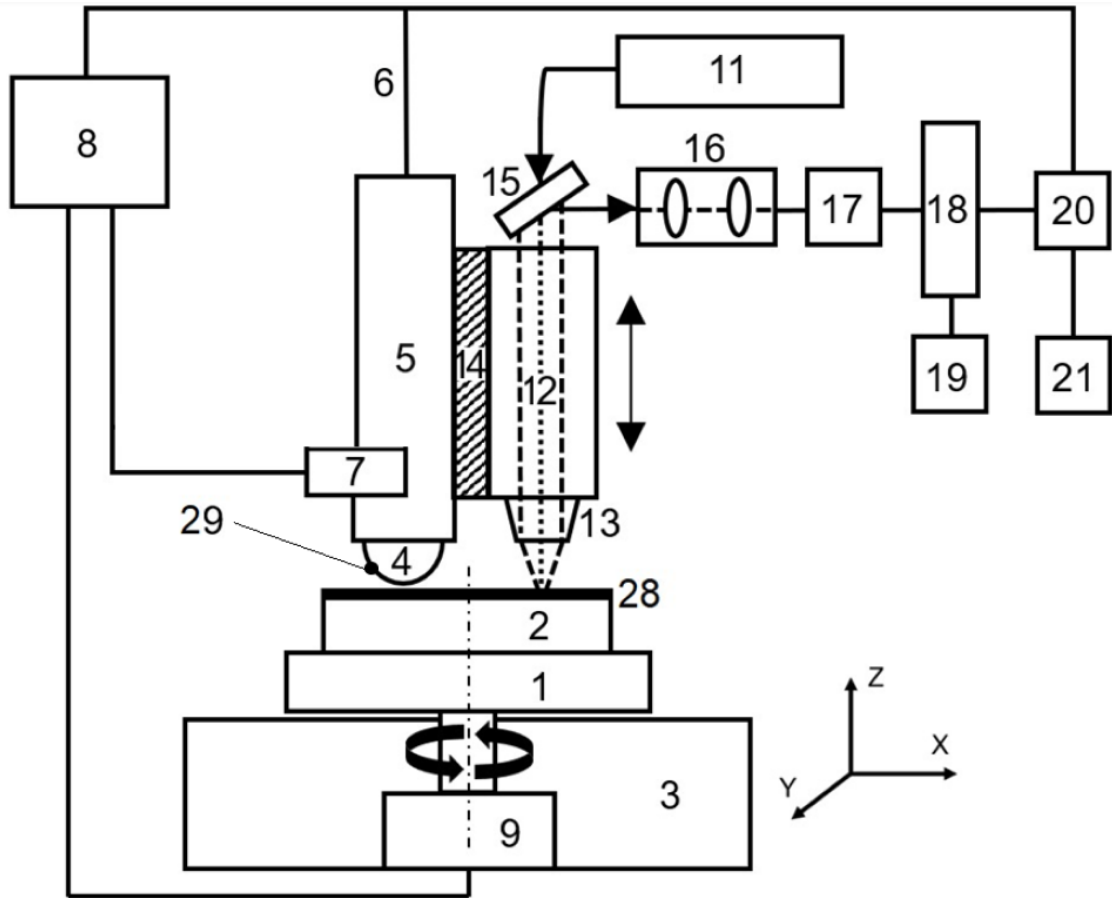
25 spektroskopijos sistemoje žadinančio lazerio spindulys ir surenkamo Ramano sklaidos signalo zondas į triboporą yra atitinkamai nukreipti vienodu nuo 5° iki 90° kampu optimaliausias registravimo kampas, artimiausioje triboporos kontakto zonoje, yra apie 45° kampas.
5. Automatizuota nepertraukiamo tribologinės sistemos cheminių pokyčių registravimo

30 sistema pagal bet kurį ankstesnių punktų b e s i s k i r i a n t i t u o, kad Ramano lazerio spindulys gali būti nukreiptas ir sufokusuotas skirtingame gylyje nuo tiriamo paviršiaus, naudojant žingsnio dydį nuo 1 iki 10 μm , kai gylis yra iki 100 μm .

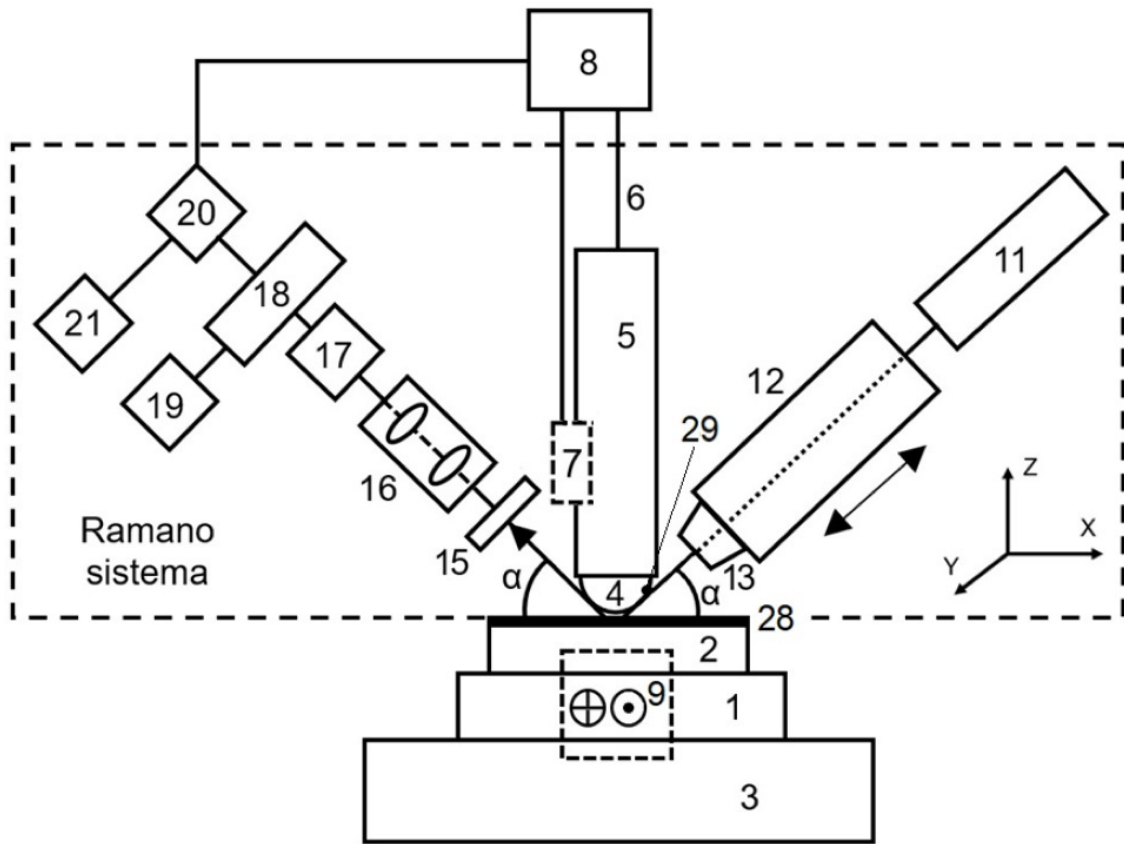
6. Automatizuota nepertraukiamo tribologinės sistemos cheminių pokyčių registravimo sistema pagal 1 punktą, b e s i s k i r i a n t i t u o, kad valdymo sistema (8) papildomai apima: 2D pjezoelektrinę pavarą (22) skirtą bandiniui (2) judinti X-Y ašies kryptimis, kvarcinį arba piezokeraminį rezonatorių (23) su zonu, kaip nano-triboporos priešpriešiniu bandiniu (24), kurio viršūnės spindulys yra iki 10 nm skirtą molekuliniais virpesiais nano-triboporoje registruoti, ir pjezoelektrinę pavarą (25) judančią Z ašimi, šviesolaidinį optinį nanopluošto kabelį (26) nukreiptą į bandinio (2) paviršių ir fotonų skaitliuką (27) skirtą silpną Ramano sklaidos signalų registravimui.
- 5
7. Panaudojimo būdas sistemos pagal bet kurį iš 1-5 punktų arba 6 punktą, apima sekančius žingsnius:
- 10 a) sistema paruošiama darbui:
- bandinys (2) tvirtinamas bandinio laikiklyje (1) ir priešpriešinis bandinys (4) arba nano-triboporos priešpriešinis bandinys (24) tvirtinamas priešpriešinio bandinio laikiklyje;
- 15 pasirinktinai, tepimo medžiaga (28) įterpiama tarp bandinio (2) ir priešpriešinio bandinio (4), užtikrinanti trinties poros paviršių atskyrimą;
- b) per valdymo sistemą (8) atliekama trinties paviršių triboporos sąveika nustatytais parametrais, ir mechaninės apkrovos, judėjimo, trinties jėgos/momento registravimas ir pasirinktinai temperatūros parametrų registravimas triboporos artimoje kontaktui zonoje;
- 20 c) Ramano spektroskopijos sistema, fiksuoja ir vizualizuoja triboporos bandiniuose įvykusius spektrinius pokyčius;
- b e s i s k i r i a n t i s t u o, kad trinties paviršių poros sąveika vyksta nepertraukiamai per valdymo sistemą (8), dėl to triboporos medžiagos sąveikaudamos, trinties metu kinta arba formuoja naujus cheminius junginius, kurie suteikia ryškius pokyčius Ramano spektre, ir šiuos pokyčius triboporos bandinyje realiu laiku registruoja ir vizualizuoja nepertraukiamai Ramano spektroskopijos sistema.
- 25
8. Panaudojimo būdas sistemos pagal 7 punktą b e s i s k i r i a n t i s t u o, kad per valdymo sistemą (8) mechaninės apkrovos ir judesio režimai yra keičiami bandymų metu.
- 30



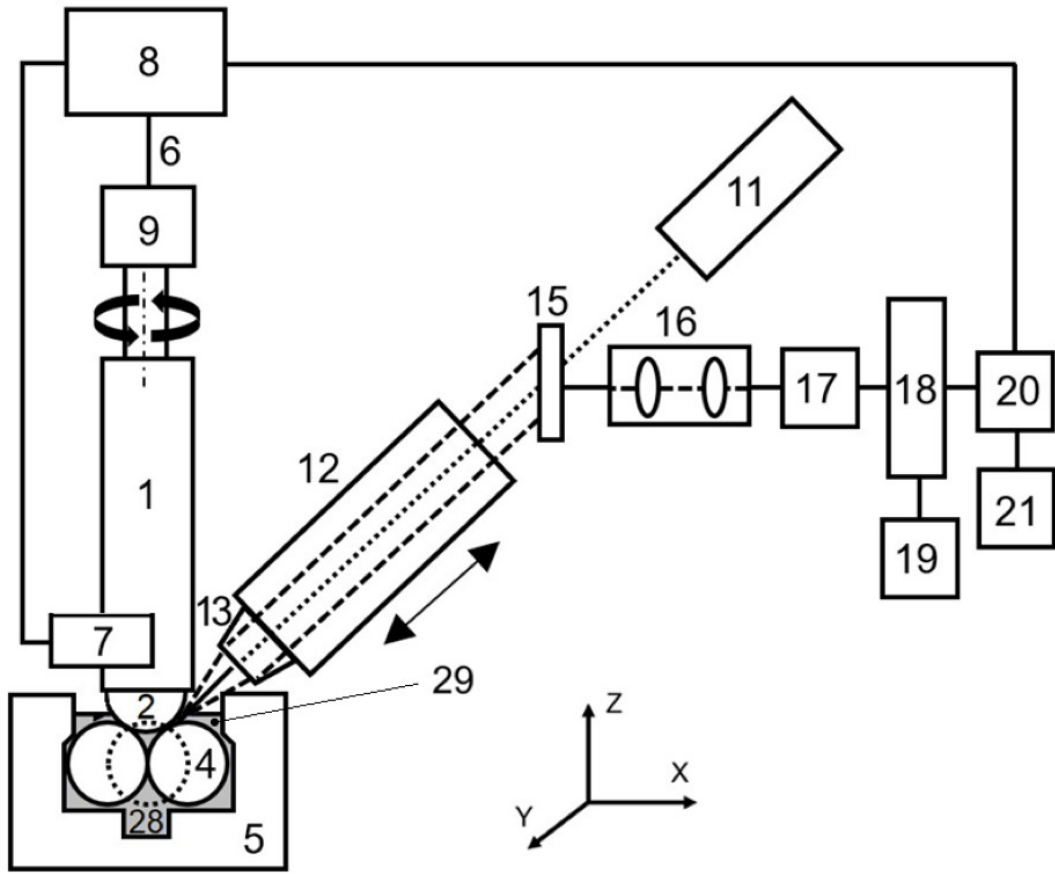
1 pav.



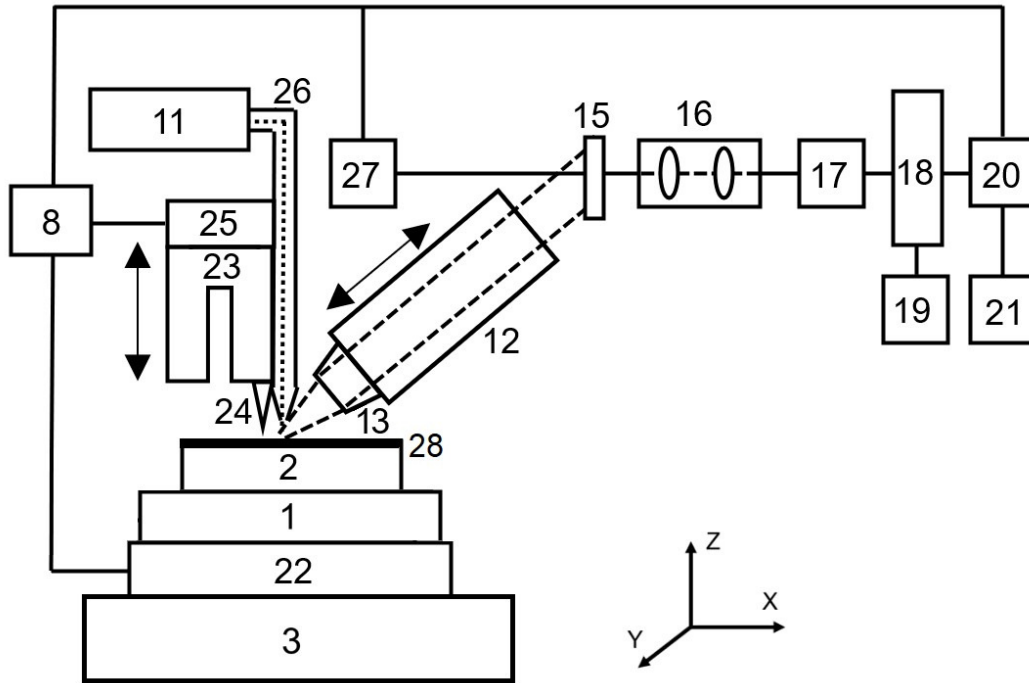
2 pav.



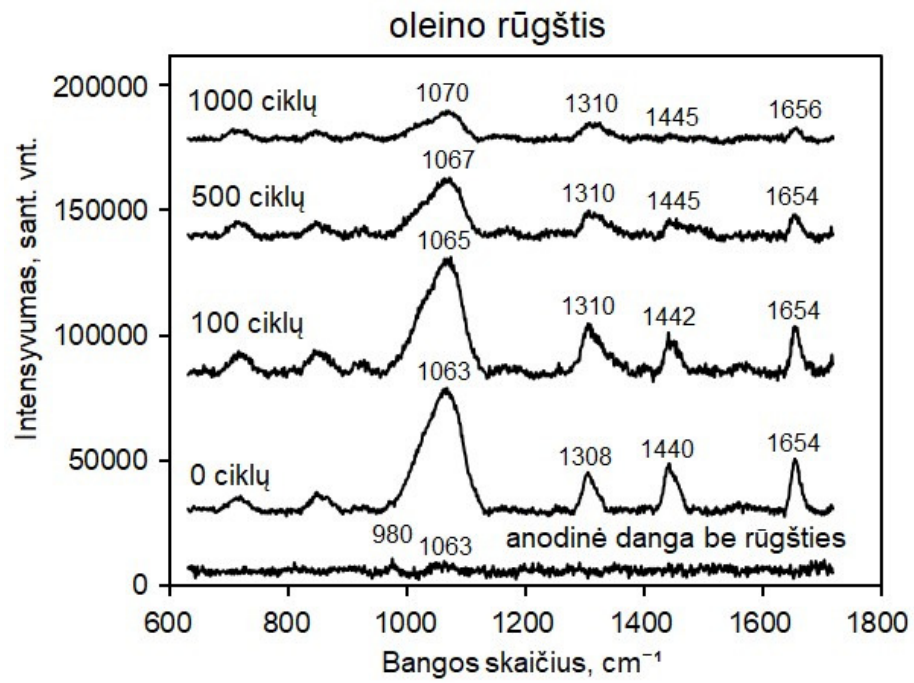
3 pav.



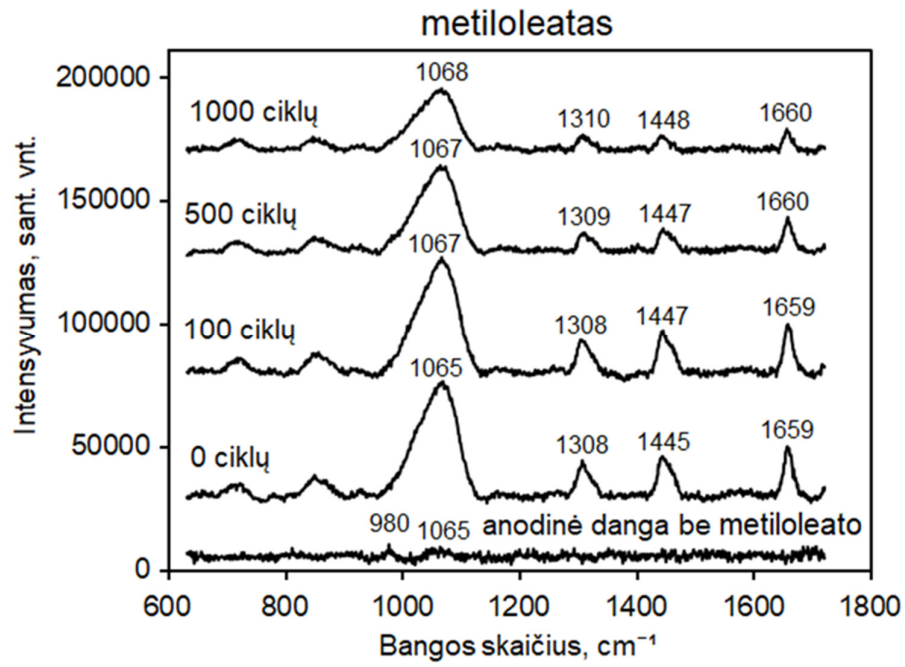
4 pav.



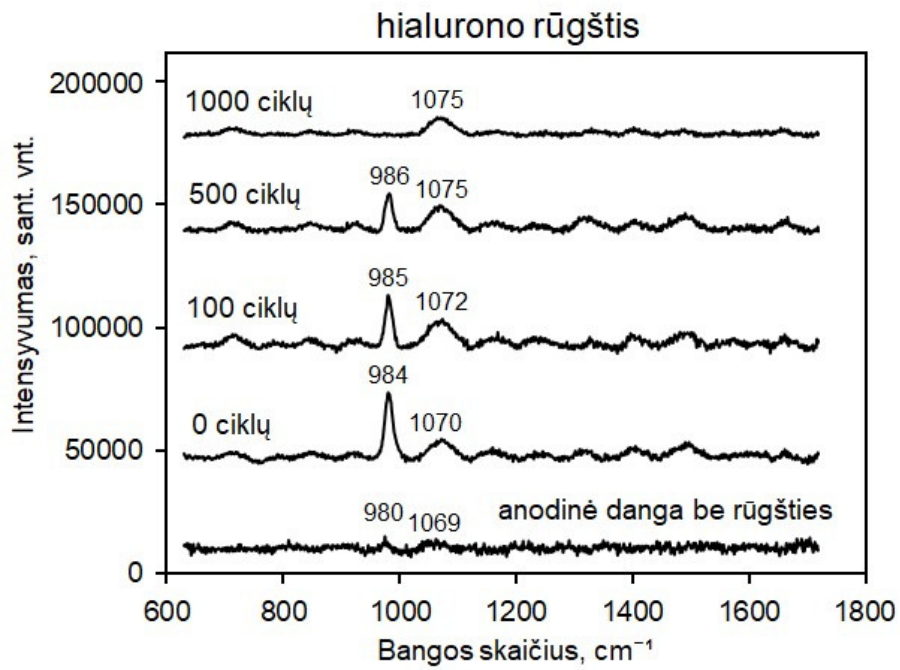
5 pav.



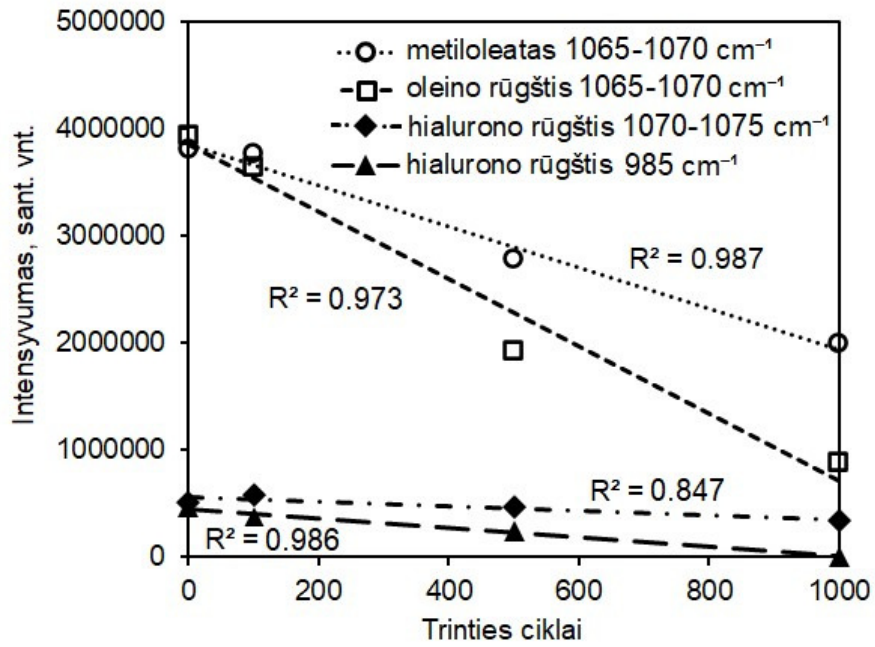
6 pav.



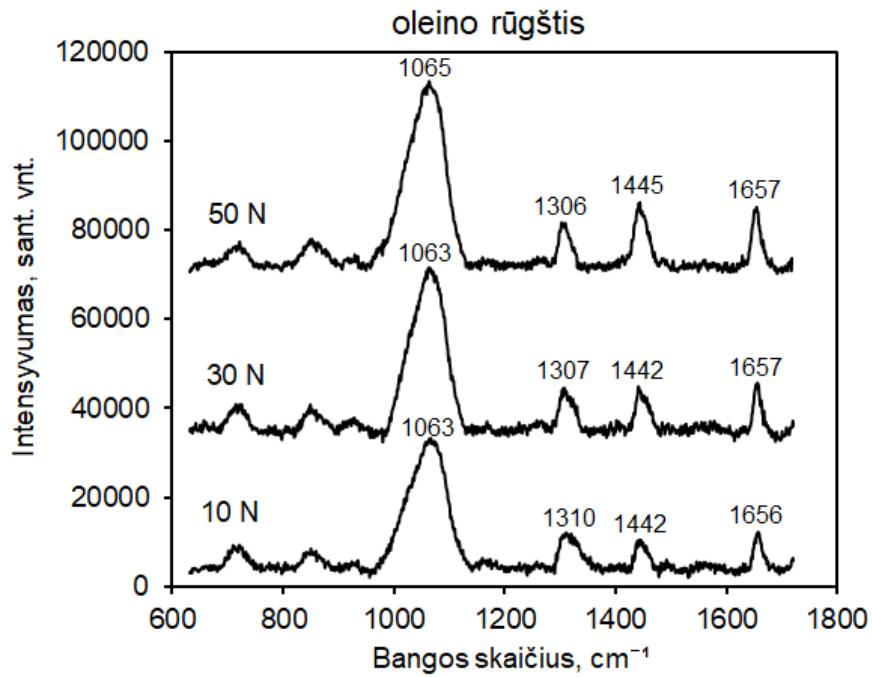
7 pav.



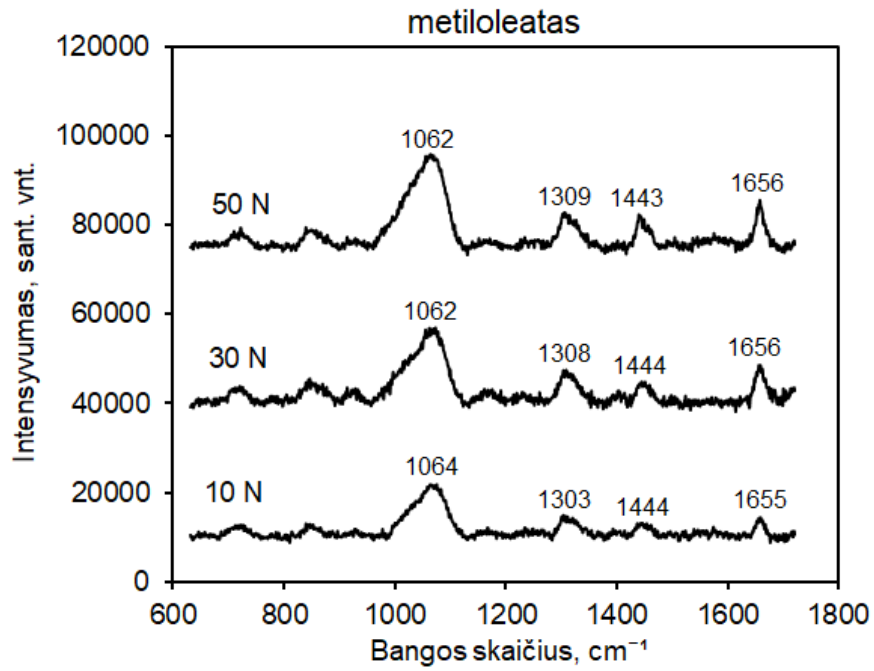
8 pav.



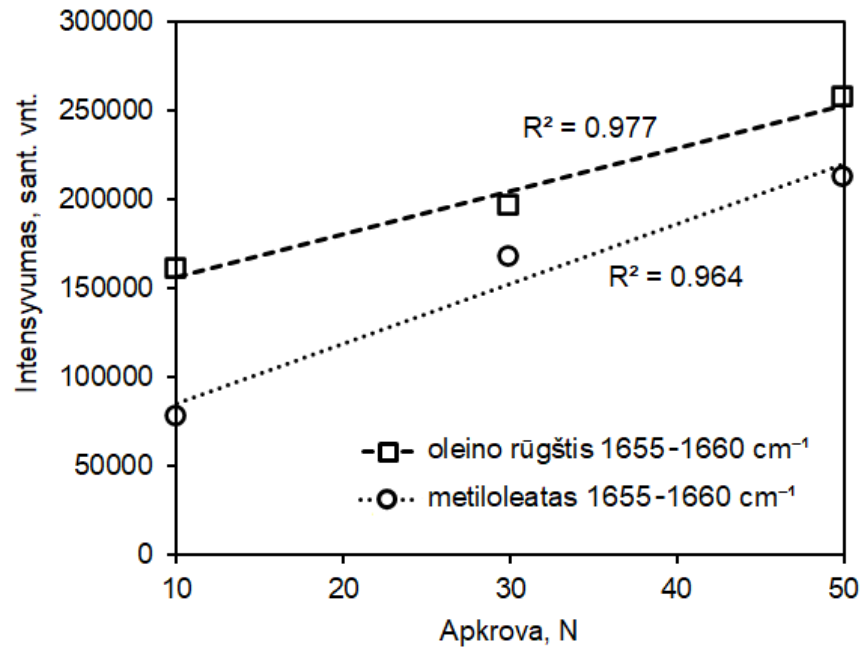
9 pav.



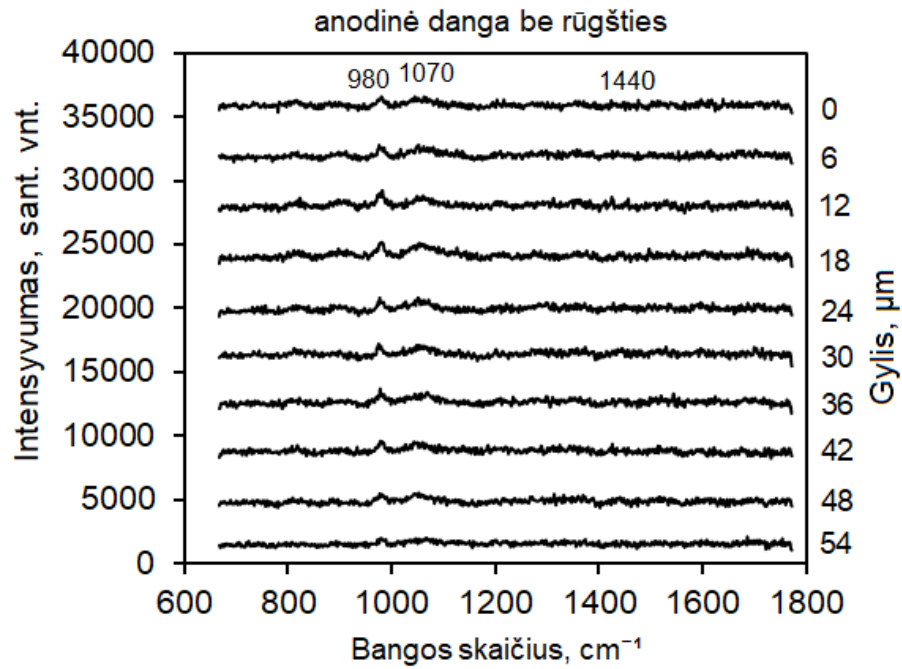
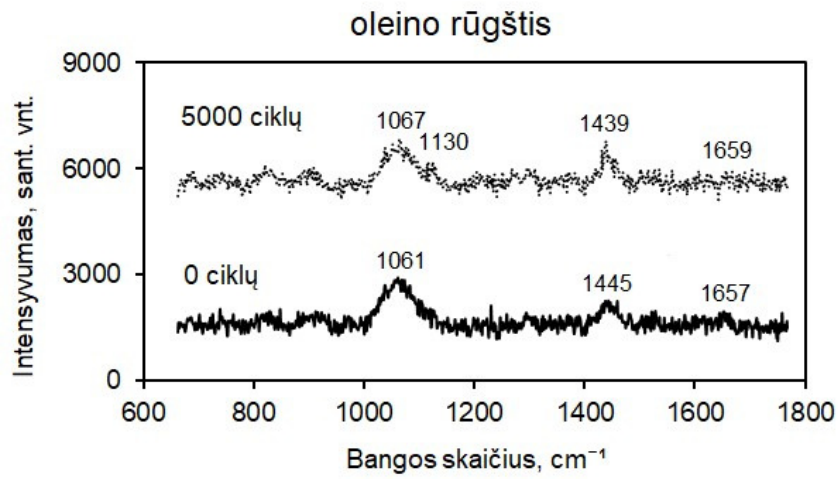
10 pav.

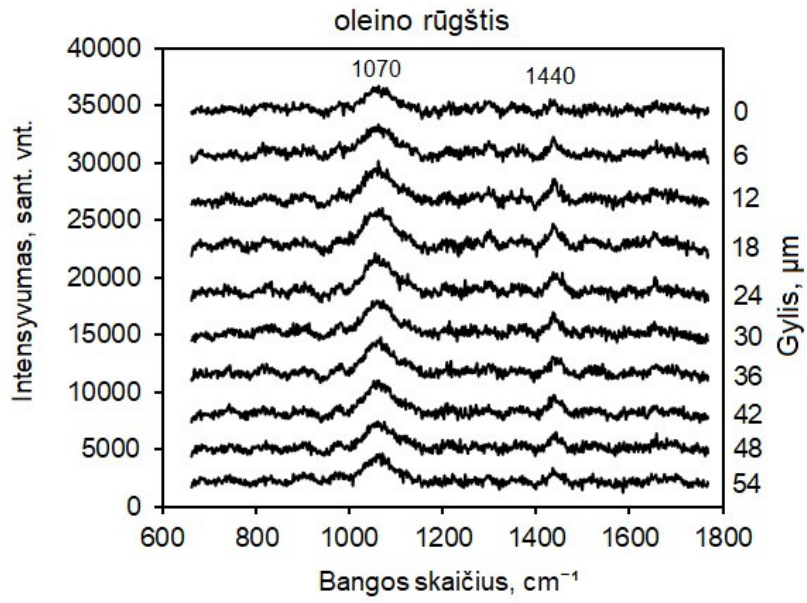


11 pav.

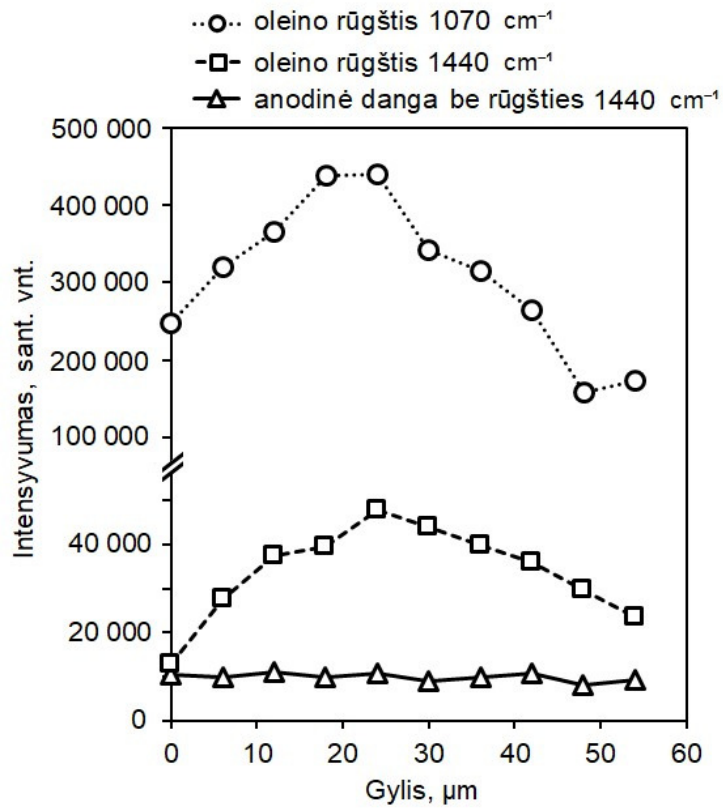


12 pav.





15 pav.



16 pav.