

ИОН-ПЛАЗМА ВА ЛАЗЕР ТЕХНОЛОГИЯЛАРИ ИНСТИТУТИ
ХУЗУРИДАГИ ИЛМИЙ ДАРАЖАЛАР БЕРУВЧИ
DSc.30.05.2018.FM/T.65.01 РАҚАМЛИ ИЛМИЙ КЕНГАШ

ИОН-ПЛАЗМА ВА ЛАЗЕР ТЕХНОЛОГИЯЛАРИ ИНСТИТУТИ

ЗАРИПОВ АБДУЖАППАР АБДУРАЗАКОВИЧ

ДИЭЛЕКТРИКЛАРГА ЭЛЕКТРОЭРОЗИЯ ЁРДАМИДА ИШЛОВ
БЕРИШДАГИ ЖАРАЁНЛАР

01.04.04 – Физик электроника

ФИЗИКА-МАТЕМАТИКА ФАНЛАРИ БЎЙИЧА ФАЛСАФА ДОКТОРИ (PhD)
ДИССЕРТАЦИЯСИ АВТОРЕФЕРАТИ

Тошкент – 2019

**Физика-математика фанлари бўйича фалсафа доктори(PhD)
диссертацияси автореферати мундарижаси**

**Оглавление автореферата диссертации доктора философии
(PhD) по физико-математическим наукам**

**Contents of dissertation abstract of doctor of philosophy (PhD)
on physical-mathematic sciences**

Зарипов Абдужаппар Абдурзакович Диэлектрикларга электроэрозия ёрдамида ишлов беришдаги жараёнлар	3
Зарипов Абдужаппар Абдурзакович Процессы при электроэрозионной обработки диэлектриков	17
Zaripov Abdujappar Abdurazakovich Processions of electrical discharge machining by dielectrically	31
Эълон қилинган ишлар рўйхати Список опубликованных работ List of published works	35

**ИОН-ПЛАЗМА ВА ЛАЗЕР ТЕХНОЛОГИЯЛАРИ ИНСТИТУТИ
ХУЗУРИДАГИ ИЛМИЙ ДАРАЖАЛАР БЕРУВЧИ
DSc.30.05.2018.FM/T.65.01 РАҚАМЛИ ИЛМИЙ КЕНГАШ**

ИОН-ПЛАЗМА ВА ЛАЗЕР ТЕХНОЛОГИЯЛАРИ ИНСТИТУТИ

ЗАРИПОВ АБДУЖАППАР АБДУРАЗАКОВИЧ

**ДИЭЛЕКТРИКЛАРГА ЭЛЕКТРОЭРОЗИЯ ЁРДАМИДА ИШЛОВ
БЕРИШДАГИ ЖАРАЁНЛАР**

01.04.04 – Физик электроника

**ФИЗИКА-МАТЕМАТИКА ФАНЛАРИ БЎЙИЧА ФАЛСАФА ДОКТОРИ (PhD)
ДИССЕРТАЦИЯСИ АВТОРЕФЕРАТИ**

Тошкент – 2019

Фалсафа доктори (PhD) диссертацияси мавзуси Ўзбекистон Республикаси Вазирлар Маҳкамаси хузуридаги Олий аттестация комиссиясида B2017.4.PhD/FM157 рақам билан рўйхатга олинган

Диссертация Ўзбекистон Республикаси Фанлар Академияси Ион-плазма ва лазер технологиялари институтида бажарилган.

Диссертация автореферати уч тилда (ўзбек, рус, инглиз (резюме)) Илмий кенгаш веб-саҳифаси fti.uz ва «ZiyoNet» Ахборот таълим тармоғида (www.ziynet.uz) жойлаштирилган.

Илмий раҳбар:

Ашуров Хатам Бахронович
техника фанлари доктори, профессор

Расмий оппонентлар:

Тураев Назар Юлдашевич
физика-математика фанлари доктори, академик

Ташатов Алланазар Каршиевич
физика-математика фанлари доктори, доцент

Етакчи ташкилот:

Тошкент давлат техника университети

Диссертация химояси Ион-плазма ва лазер технологиялари институти хузуридаги илмий даражалар берувчи DSc.30.05.2018.FM/T.65.01 рақамли илмий кенгашнинг 2019 йил «___» _____ соат ___ даги мажлисида бўлиб ўтади (Манзил: 100125, Тошкент, Дўрмон йўли кўчаси, 33-уй. Тел./факс: (998-71) 262-32-54, email: iplt@iplt.uz).

Диссертация билан Ион-плазма ва лазер технологиялари институтининг Ахборот-ресурс марказида ___ рақами билан рўйхатга олинган, иш билан ИПваЛТИда танишиш мумкин, манзили: 100125, Тошкент, Дўрмон йўли кўчаси, 33-уй. Тел: (998-71) 262-31-69.

Диссертация автореферати 2019 йил «___» _____ да тарқатилди.

(2019 йил «___» _____ даги ___ рақамли реестр баённомаси).



С.С. Курбанов

Илмий даражалар берувчи Илмий кенгаш раиси ўринбосари ф.-м.ф.д., катта илмий ходим

Д.Т.Усманов

Илмий даражалар берувчи Илмий кенгаш илмий котиби ф.-м.ф.д., катта илмий ходим



Б.Е.Умирзаков

Илмий даражалар берувчи Илмий кенгаш қошидаги илмий семинар раиси ф.-м.ф.д., профессор

КИРИШ (фалсафа доктори (PhD)диссертацияси аннотацияси)

Диссертация мавзусининг долзарблиги ва зарурати. Ҳозирги вақтда жаҳонда замонавий саноатнинг машинасозлик, микроэлектроника, ракетасозлик каби соҳаларида металллар ўрнига сопол ва бошқа ёмон ўтказувчан моддалардан бўлган қотишмали янги материаллар фаол ишлатилмоқда. Бу қотишмалар металлларга қараганда чириш ва занглашга бардошли, енгилроқ ҳамда ҳароратга чидамли, тўзмайдиган, аммо асосийси жуда арзон ҳисобланади. Бироқ уларга анъанавий усулларда ишлов бериш ушбу материаллар таннархидан ўн баравар ошиб кетади. Баъзи ҳолларда уларга механик ишлов бериш деярли мумкин эмас. Шунга кўра, энг муҳим ва долзарб муаммолардан бири, янги қотишмали материалларга ноанъанавий усулларда ишлов бериш ҳисобланади. Импульсли электр разрядлари билан ишлов беришдаги электрод олди жараёнлари табиатини, кейинчалик бу усулни амалиётда қўллаш юзасидан тадқиқ қилишга йўналтирилган изланишлар ўта муҳим масалалардан биридир.

Бугунги кунда жаҳонда янги қотишмали материалларни қўллаш ва уларга ишлов беришни арзонлаштириш саноатда муҳим аҳамият касб этади. Шунингдек, электр эрозияни янги қотишмаларга ишлов беришда қўллаш, материалларнинг кафолатли хизмат муддатини узайтириш ва фойдаланилаётган материалларнинг таннархини туширишни таъминлаш, таъсир механизмларини аниқлаш ва ўрганиш; унумдорлик ва технологик катталиклар орасидаги боғлиқликни аниқлаш; сувли электролитларда катод атрофидаги плазма қатламининг доимийлик шартларини аниқлаш; назарий маълумотларни ҳисоб-китоб қилиш ва амалий натижалар билан солиштириш; яримўтказгич ва ноўтказгич материалларга ишлов беришнинг энг мақбул катталикларини аниқлаш замонавий фан ва саноатда катта аҳамият касб этади.

Ўзбекистон республикасида ҳозирги пайтда физиканинг долзарб муаммолари устида илмий-тадқиқот ва инновацион ишлар фаол олиб борилмоқда. Республикани янада ривожлантириш бўйича Ҳаракатлар стратегиясида фан ва инновация ютуқларини амалиётга татбиқ қилиш масалаларига алоҳида эътибор қаратилган. Амалиётда қўллаш учун математик моделларни шакллантириш замонавий электродлар олди жараёнлари физикаси йўналишининг долзарб илмий вазифаси ҳисобланади. Олинган натижалар ток ўтказмайдиган материалларга электр импульслари ёрдамида ишлов берувчи янги дастгоҳлар ва қурилмалар ишлаб чиқишда катта истиқболга эга бўлади.

Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2017 йил 7 февралдаги ПФ-4947-сонли «Ўзбекистон Республикасини янада ривожлантириш бўйича Ҳаракатлар стратегияси» тўғрисидаги Фармони ва 2017 йил 17 февралдаги ПҚ-2789-сонли «Фанлар академияси фаолияти, илмий-тадқиқот ишларини ташкил этиш, бошқариш ва молиялаштиришни янада такомиллаштириш чоратадбирлари тўғрисида»ги Қарори ҳамда мазкур фаолиятга тегишли бошқа меъёрий-ҳуқуқий ҳужжатларда белгиланган вазифаларни амалга оширишга ушбу диссертация тадқиқоти муайян даражада хизмат қилади.

Тадқиқотнинг республика фан ва технологиялари ривожланишининг устувор йўналишларига мослиги. Тадқиқот республика фан ва технологиялар ривожланишининг III. «Энергетика, энергоресурс тежамкорлиги, транспорт, машина ва асбобсозлик, замонавий электроника, микроэлектроника, фотоника, электрон асбобсозлиги ривожланиши» ва II. «Физика, астрономия, энергетика ва машинасозлик» устувор йўналишларига мувофиқ бажарилган.

Муаммонинг ўрганилганлик даражаси. Бугунги кунда ҳар хил хорижий илмий марказлар томонидан ток ўтказмайдиган материалларга ишлов бериш бўйича қатор илмий тадқиқотлар бажарилган. Масалан, диэлектрикларга электр эрозия усулида ишлов бериш технологияси ривожига япон олимлари N.Mohri, Y.Fukuzawa (1998) муайян ҳисса қўшишган, бу технология материалда сунъий ўтказувчанлик ҳосил қилишга асосланган. Олимлар R.Wüthrich ва H.Bleuler (2005) диэлектрикларга электрокимёвий электроэрозиявий усулларда биргаликда ишлов беришни таклиф қилишган. Уларнинг хулосаларига кўра, электроэрозиявий ишлов бериш анод ва катод орасидаги пуфакчалардан ташкил топган газ қатлам орқали содир бўлади. Хитой олимлари Y.H.Liu, R.J.Ji (2008) электрокимёвий ва электр усулларини ёрдамчи электрод билан биргаликда ишлатишни таклиф қилишган, улар ёрдамчи электрод сифатида юпқа мис тахтасини ишлатган ҳолда изоляцияловчи сопол сиртининг катта соҳаларига ишлов бера олишган.

Мамлакатимизда электр импульсларининг кам ўтказувчан материалларга таъсири механизмларини аниқлаш устидаги тадқиқотлар техника фанлари доктори Э.Т.Абдукаримов томонидан олиб борилган (2001).

Ҳозирги вақтда қотишмаларга ишлов бериш учун электрофизикавий усулларни қўллашда жонланиш кузатилмоқда. Ток ўтказмайдиган материалларга ноанъанавий усулларда ишлов беришнинг кенг ва турли имкониятлари борлиги тажрибаларда исботланган. Электроэрозия таъсирида қаттиқ жисм сиртида содир бўлаётган жараёнлар механизмини ўрганишда атом-куч микроскопиясини ва вақт давомида синалган усулларни кенг қўллаш пуфакчалар кавитациясининг физикавий ва кимёвий катталикларини юқори даражада аниқлаш имконини берди.

Бу диссертация ишига қадар, ток ўтказмайдиган ва яримўтказгич материалларга ноанъанавий усулларда ишлов бериш жараёнларининг физикавий табиатини ёритувчи ва тавсифлаб берувчи механизмлар бўйича тизимли ахборот йўқ эди. Ушбу тизимли маълумотлар орасидан физикавий жараёнлар ва электролитларга туширилган диэлектрик намуналарга электроэрозиянинг билвосита таъсирида вужудга келувчи кавитация ҳодисасининг доимийлик ва турғунлик каби шартлари таъминланишини тажрибаларда аниқлаш лозим эди.

Тадқиқотнинг диссертация бажарилган илмий-тадқиқот муассасасининг илмий-тадқиқот ишлари билан боғлиқлиги. Диссертация иши ЎзР ФА Ион-плазма и лазер технологиялар институтидаги қуйидаги илмий-тадқиқот лойиҳалари доирасида бажарилган: ФА-А4-Ф057-сонли «Поликристалл кремний ишлаб чиқаришнинг технологик схемасини яратиш» (2012–2016 йй.); А13-159-сонли «Ҳар-хил материалларда тирқиш ва чуқур

тешиқлар очишнинг ўта аниқ электроэрозиявий қўшма технологияларини ишлаб чиқиш» (2006-2008 йй.); П19-36-сонли «Ноанъанавий материалларга электроэрозия ёрдамида ишлов бериш усулларини ишлаб чиқиш» (2002-2005 йй.); П.3.6.1.2-сонли «Электр разряди (электроэрозия) ёрдамида юқори омли материалларга ўлчовли ишлов бериш технологияларини ишлаб чиқиш» (2000-2002 йй.).

Тадқиқотнинг мақсади ток ўтказмайдиган материалларга электроэрозиявий ишлов беришнинг физик табиати ва шакллантирилган юқори частотали импульсли электр разрядларининг диэлектрик сирти билан таъсирлашув механизмларини аниқлашдан иборат.

Тадқиқотнинг вазифалари:

диэлектрик ва яримўтказгичларга ишлов берувчи электроэрозия қурилмасини ишлаб чиқиш;

вольтампер хусусиятларини, электролитларда плазма буғ-газ қатламининг пайдо бўлиш қонуниятларини ва шаклланиш шартларини аниқлаш;

катод яқинидаги плазмали буғ-газ қатламнинг давомийлик, доимийлик ва турғунлик шартларини ойдинлаштириш;

электролитлардаги импульсли электр разряди критик ток зичлигининг анодлар физикавий-техникавий катталикларига боғлиқлигини аниқлаш;

электр катталиклари ва электр қуввати сарфининг тешиш унумдорлигига таъсирини аниқлаш;

ток ўтказмайдиган материалларга ишлов беришдаги асосий механизмларнинг емирувчан таъсири хусусиятлари ва физик табиатини аниқлаш.

Тадқиқотнинг объекти бўлиб фотопластинка (SiO_2 (68,4%); CaO (8,5%); Na_2O (9,4%); K_2O (7,1%); Al_2O_3 (3,9%); B_2O_3 (2,7%), сопол (Al_2O_3 (28%); Cr (72 %)), оптик ойна (PbO (53,2%); SiO_2 (41,4%); K_2O (5,4%)), поликристалл кремний хизмат қилган.

Тадқиқотнинг предмети электролитлардаги катод олди соҳаларида плазма гулхани шаклланиш қонуниятлари ва физик механизмлари, ишчи муҳитни танлаш, кавитациянинг емирувчан таъсир механизмидан иборат.

Тадқиқотнинг усуллари. Тадқиқотда вольтампер хусусиятлар (ВАХ), вольт-ҳарорат хусусиятлар (ВХХ), растр электрон микроскопия (РЭМ), атом-куч микроскопия (АКМ) усулларидан фойдаланилган.

Тадқиқотнинг илмий янгилиги қуйидагилардан иборат:

диэлектрик ва яримўтказгичларга ишлов имконини берувчи универсал электроэрозия қурилмаси ишлаб чиқилган;

электролитлардаги катод олди соҳаларида буғ-газ қатлами ҳосил бўлиш шартлари, плазма қобик пайдо бўлиш қонуниятлари ва вольтампер хусусиятлари аниқланган;

катод олди соҳаларида плазма қатламнинг давомийлик, турғунлик, доимийлик шартлари аниқланган;

импульсли электр разрядлари шароитида критик ток зичлигининг анод физикавий-техникавий катталикларига боғлиқликлари топилган;

электр катталикларининг ва сарфланаётган электр қуввати ошишининг тешиш унумдорлигига таъсири аниқланган;

электролит муҳитдаги диэлектриклар эрозияси жараёнини тушунтирувчи кавитация механизми асосланган;

электролит тўйинганлигининг ошиши билан сирт таранглик коэффициентининг пасайишини тушунтирувчи кенгайтирилган конденсатор модели ишлаб чиқилган.

Тадқиқотнинг амалий натижалари қуйидагилардан иборат:

иш бўйича олинган янги натижалар электрод олди жараёнлари ва электр разрядининг қаттиқ жисмлар сирти билан таъсирлашув физикаси учун катта аҳамиятга эга ва электролитларда ток ўтиши жараёнлари тўғрисидаги тушунчаларни чуқурлаштиришга, уларнинг мавжуд назарий моделларини ривожлантиришга хизмат қилади;

диэлектрикларга электр разрядлари билан ишлов беришнинг ноанъанавий усулида олинган амалий тажриба натижалари мазкур қотишмаларнинг саноатдаги ролини оширишда ва кенгроқ қўлланишида ўта муҳим, кавитациянинг кам учрайдиган механизми бизларга электролитлардаги катод олди жараёнларини таҳлил қилишга ёрдам беради;

ойна тахталарини тешишда аниқланган қонуниятлар ноўтказгич ва юқори қаршиликли сопол қотишмаларга ишлов беришда ишлатилиши мумкин. Олинган натижалар диэлектрикларга ишлов беришни ривожлантиришнинг илмий асоси сифатида хизмат қилади.

Тадқиқот натижаларининг ишончлилиги уларнинг замонавий ва синалган тадқиқот усуллари ёрдамида олинганлиги ҳамда маълумотлар қайта ишланганлиги билан тасдиқланади. Ҳар бир тажриба энг камида 3-5 марта ўтказилган, шу билан ўртача статистик ва мутлоқ хатолар OriginPro компьютер дастурини ишлатиш орқали ҳисобланган. Тажриба натижалари ва уларнинг таҳлили асосидаги хулосалар кўрилаётган объектларнинг назарий тадқиқотлари борасидаги бошқа муаллифлар ишлари билан мос келади.

Тадқиқот натижаларининг илмий ва амалий аҳамияти. Тадқиқот натижаларининг илмий аҳамияти шундаки, диссертация иши катод яқинида олинган плазма гулханининг физик хусусиятлари ва шаклланиш механизмларини тушунтиришга ҳамда кавитация жараёнининг ҳар хил ўтказувчанлик табиатига эга материалларнинг сиртига емирувчан таъсирини ўрганишга ва импульсли электр разрядлари шароитидаги кавитация назарияси ривожига асос бўлиб хизмат қилган.

Тадқиқот натижаларининг амалий аҳамияти шундан иборатки, у металлларнинг конденсатор моделини кенгайтирилган ҳолда полиэлектролитларда ишлатиш имконини беради. Фойдаланилган ёндашувлар, усуллар, аниқланган механизмлар ёмон ўтказувчан материаллар, жумладан, қаттиқ жисмли электроника ускуналари ва қуёш энергетикасида ишлатилувчи юқори омли поликристалл кременийни кесишнинг янги усуллари асос бўлади.

Тадқиқот натижаларининг жорий қилиниши.

Диэлектрикларга электроэрозиявий ишлов беришнинг физик табиати ва шакллантирилган юқори частотали импульсли электр разрядларининг диэлектрик сирти билан таъсирлашув механизмларини аниқлаш асосида:

тешиш тезлиги ва унинг физик катталиклари орасидаги боғлиқлик, плазма қатламининг давомийлик, доимийлик ва турғунлик шартлари, шунингдек, кавитациянинг ноёб механизми асосида олинган илмий натижалар полимер изоляторларни тешишда Ангрен шаҳридаги Арматура-изолятор заводида қўлланилган («Ўзбекэнерго» акционерлик жамиятининг 2019 йил 1 майдаги ХШ01-23.676-сонли маълумотномаси). Илмий натижалардан фойдаланиш ишлов бериш унумдорлигини ва полимер намунанинг мустаҳкамлигини ошириш имконини берган;

катод олди соҳаларидаги плазма қатламининг импульсли электр разрядларига боғлиқлиги ва электролит муҳитлардаги электроэрозиявий ишлов бериш механизми бўйича олинган тажриба натижалари А-4-7-сонли «Микро ва оптоэлектроника, жумладан, қуёш энергетикаси ускуналари учун кремний ва арсенид галлий монокристалл юпқа пардалари сиртига яқин соҳаларига гетероэпитаксиал тузилмаларни синтез қилиш» амалий лойиҳасида яримўтказгич ва диэлектрикларда уловчи тешиклар очиш учун қўлланилган. (Ўзбекистон Республикаси Олий таълим Вазирлигининг 2019 йил 2 майдаги 89-03-1749-сонли маълумотномаси). Илмий натижалардан фойдаланиш яримўтказгич ва диэлектрикларда юқори аниқликдаги тешиклар очиш имконини берган.

Тадқиқот натижаларининг апробацияси. Мазкур тадқиқот натижалари 7 та халқаро ва республика илмий-амалий анжуманларида муҳокамадан ўтказилган.

Тадқиқот натижаларининг эълон қилинганлиги. Диссертация мавзуси бўйича жами 18 та илмий иш чоп этилган, шулардан Ўзбекистон Республикаси Олий аттестация комиссиясининг докторлик диссертациялари асосий илмий натижаларини чоп этиш тавсия этилган илмий нашрларда 7 та мақола, жумладан, 3 таси хорижий журналларда нашр этилган.

Диссертациянинг тузилиши ва ҳажми. Диссертация таркиби кириш, тўртта боб, хулоса, фойдаланилган адабиётлар рўйхатидан иборат. Диссертациянинг ҳажми 125 бетни ташкил этади.

ДИССЕРТАЦИЯНИНГ АСОСИЙ МАЗМУНИ

Кириш қисмида ўтказилган тадқиқотларнинг долзарблиги ва зарурати асосланган, тадқиқотнинг мақсади ва вазифалари, объект ва предмети тавсифланган, республика фан ва технологиялари ривожланишининг устувор йўналишларига мослиги кўрсатилган, тадқиқотнинг илмий янгилиги ҳамда амалий натижалари баён қилинган, олинган натижаларнинг илмий ва амалий аҳамияти очиб берилган, тадқиқот натижаларини амалиётга жорий қилиш, нашр этилган ишлар ва диссертация тузилиши бўйича маълумотлар келтирилган.

Диссертациянинг «**Импульсли электр разрядларининг сиртга таъсири бўйича ишлар таҳлили**» деб номланган биринчи бобида ҳар хил турдаги ўтказувчанликка эга материалларга электроэрозиявий ишлов бериш ҳақидаги замонавий тасаввурлар таҳлил қилинган, ишлов берилувчи намуна сиртларида ўтказувчанлик ҳосил қилиш ва чуқур ишлов бериш учун таклиф қилинган усуллар бўйича адабиётлар маълумотлари таҳлил этилган.

Ўтказувчан сопол қотишмаларни электроэрозиявий ишлов бериш жараёнининг мазмунини ифодаловчи таклиф қилинган ишлов бериш механизмлари ва ўтказувчи сопол қотишмаларни электроэрозиявий ишлов беришнинг физикавий асосларига асосий эътибор қаратилган. Диэлектрикларга электр разрядини қўллаб ишлов беришнинг таклиф қилинган усулларини урта катта гуруҳга гуруҳлаш мумкин: электр ўтказувчан қатлам ҳосил қилиш билан ишлов бериш; ёрдамчи электрод ишлатган ҳолда ишлов бериш; кимёвий моддалар ишлатган ҳолда ишлов бериш.

Мавжуд назарий ва амалий маълумотларни таҳлил қилиш асносида ток ўтказмайдиган материалларга замонавий электроэрозиявий ишлов беришдаги асосий муаммолар очиб берилган, булар диэлектрик юзасига таъсир механизмидаги ноаниқликлар билан боғлиқ бўлиб, ушбу диссертациянинг асосий мақсади ва вазифаларини шакллантиришга хизмат қилган.

Диссертациянинг «**Тажриба қурилмаси ва ўлчаш усуллари**» деб номланган иккинчи бобида тажриба қурилмаси, шунингдек, тахометр ва демпферли мувозанатловчи тизим таърифланган. Шунингдек, тадқиқот ўтказиш босқичлари, тажриба ўтказишда ишлатилган материаллар, усуллар, хусусан, кучланишнинг занжирдаги тақсимланиши ҳақидаги тўлиқ классик таҳлил маълумотлари келтирилган.

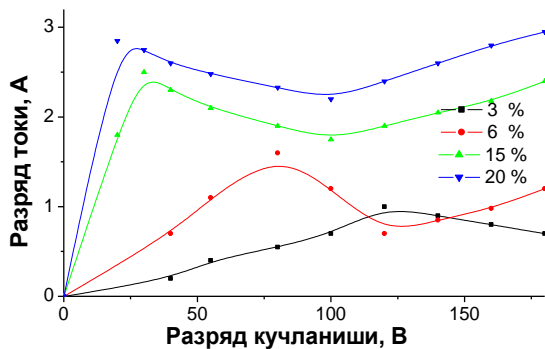
Тажриба усуллари ҳақида ҳам ёзилган бўлиб, электролитларда электр импульсларини ўрганишда асосий усул сифатида вольт-ампер ва вольт-ҳарорат хусусиятлари (ВАХ ва ВҲХ) келтирилган.

Сиртнинг микрорельефи ва нотекислиги ҳақидаги маълумотларни ўрганиш учун стандарт қурилмалардан растр электрон микроскопи («JEOL») ва атом-куч микроскоплари ишлатилган.

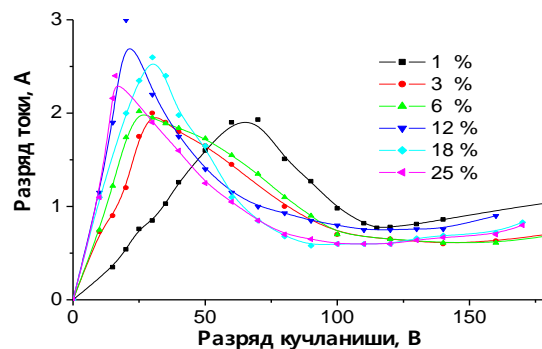
Диссертациянинг «**Электролитлардаги электр разрядлари**» деб номланган учинчи бобида сувли электролитлар вольт-ампер хусусиятлари (ВАХ) бўйича маълумотлар тадқиқи тақдим этилган. Ҳар хил шароитларда ВАХни ўрганиш бизларга бу боғлиқликларнинг тўртта умумий характерга эга ўтиш босқичлари борлигини ойдинлаштирди. Ўтиш босқичларининг хусусиятлари электр катталиклар (I , U , R , J ва ҳ.к.)га, электролитларнинг тоифасига, унинг зичлигига, яъни кимёвий реактивнинг тўйинганлигига боғлиқ, аммо электродлар аро масофага боғлиқ эмас эканлиги аниқланган.

Ҳар хил тўйинган NaCl ва NaOH сувли эритмали электролитларда ток оқиш жараёни ривожини (1-расм ва 2-расм) интеграл ВАХларида кузатиш мумкин. Ток оқимининг тақдим қилинган турли босқичларига боғлиқ ВАХ чизиқларидан 4 та қисмни ажратиб кўрсатиш мумкин.

1-ва 2-қисмларда берилган ҳарорат ва тўйинганликда кучланиш ўзгариши билан электродлар оралиғидаги қаршилик деярли амалий ўзгармайди.

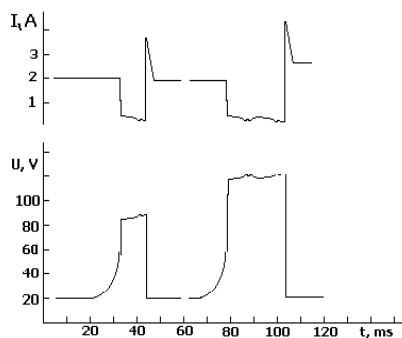


1-расм. Ҳар хил тўйинган NaCl электролити сувли эритмасининг ВАХи.

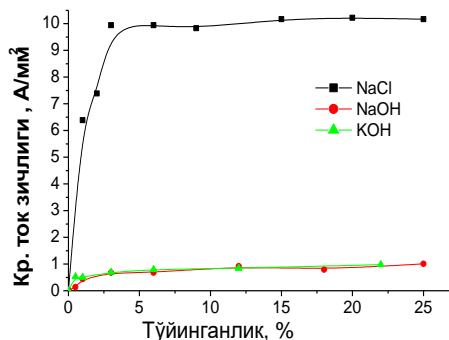


2-расм. Ҳар хил тўйинган NaOH электролити сувли эритмасининг ВАХи.

3-қисмда ток қиймати ошиб бориши натижасида электролитларда электрохимёвий жараёнлар фаоллашади ва боғлиқлик чизиқли бўлмай қолади. Бу қисм яхлит буғ қатламининг шаклланиш босқичидир ва ВАХ-нинг пасаювчи қисмига тўғри келади, импульс разрядлари содир бўлиши кузатилади. Ушбу қисм катод юзасида маълум вақт (5 мс) яшаш хусусиятига эга буғ-газ қатлам ҳосил бўлиши билан тугалланади (3-расм). 3-расмда келтирилган осциллограммадан кўриниб турбдики, электродлар оралиғидаги кучланиш сақраб ошади, ток қиймати 2 А дан, то 0,1 А гача кескин камаяди.



3-расм. Электр импульсларининг энг юқори нуқтасидаги ток ва кучланишнинг осциллограммаси.



4-расм. Критик ток зичлигининг ҳар хил электролитлар тўйинишига боғлиқлиги.

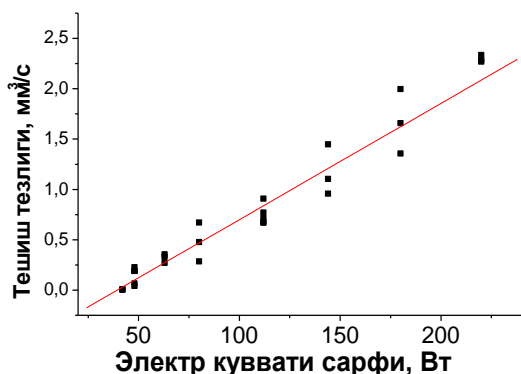
Қувват манбасидан берилган кучланиш, асосан, электродлар оралиғига тўғри келади. Чунки электролит қаршилиги жудаям кичик ва электролитнинг доимий ҳароратида амалда ўзгармайди, электр майдон электролит ва катод орасида ҳосил бўлган ~0,5 ммли, кичик буғ-газ пуфакчали қатламида жамланади, майдон кучланганлигининг кескин ошиб кетиши эса турғун бўлмаган жараёнларнинг пайдо бўлишига шароит яратади, разрядлар содир бўлиши кузатилиши мумкин.

4-қисм катод атрофидаги қатлам турғунлашуви билан тавсифланади, унинг мавжудлиги жуда кўп газ разрядларининг содир бўлиши билан биргаликда кузатилади ва катод эриш ҳароратигача қизиши мумкин.

Дастлабки разрядлар ҳосил бўладиган ток зичлигини биз шартли равишда критик деб атадик. 4-расмда критик ток зичлигининг электролитлар сувли

эритмасида тўйинганликка боғлиқлиги келтирилган бўлиб, катоднинг мазкур суюқликка ҳар хил чуқурликда ботирилган ҳолатлари учун кўрсатилган. Плазма гулхани пайдо бўлувчи кучланиш ва ток зичлиги, ўрганилган сувли электролит эритмалар учун ВАХ ва критик ток зичлигининг тўйинганликка боғлиқлигидан кўриниб турганидай (4-расм), тўйинганлик ва электролит таркибига боғлиқ.

Диссертациянинг «Диэлектрикларга электроэрозиявий ишлов бериш» деб номланган тўртинчи бўлимида ток ўтказмайдиган материалларга ишлов бериш билан боғлиқ амалий маълумотлар келтирилган.



5-расм. 6% ли NaCl нинг сувли эритмасида тешиш тезлигининг ток қувватига боғлиқлиги, NaCl, T=const, C=0,5 мкФ.

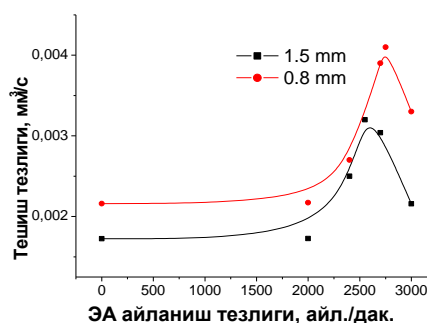
Биз оптик ойнани диаметри 1,5 мм бўлган вольфрам симли электрод-асбоб билан ишлов бериш тезлигининг электр қуввати сарфига таъсирини ўрганиб чиқдик (5-расм). Электр импульсли генератор ёрдамида даврийлик берилади ва даврий электр разрядларининг электр майдонининг кучланганлиги бошқарилди. Электр майдонининг кучланганлиги юқори нуқтага етган жойларида электр разряд содир бўлади. Электронлар ва эркин мусбат ионлар электр майдони

таъсирида юқори тезликка эришади ва лаҳзада юқори электр ўтказувчанликка эга ион лаҳм ҳосил қилади. Ундан электр токи оқиб ўта бошлайди, электрод билан намуна орасида бошланғич заррачалар тўқнашуви юзага келиб, электр импульсли разряд ҳосил бўлади.

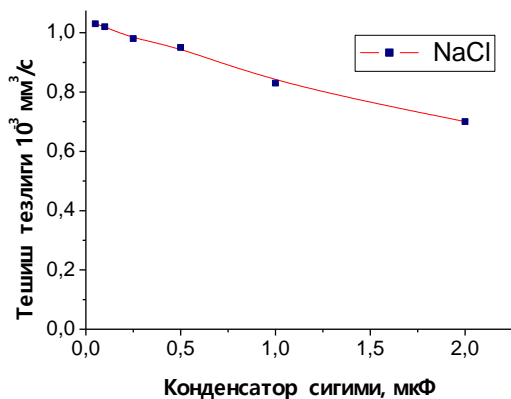
Бир миллиметрли фотопластинка асосидаги намуналарда ҳажмий тешиш тезлигининг электрод асбоб (ЭА) айланиш частотасига боғлиқлиги ўрганилган. Тешик деворларининг яроқли нотекислиги сақлаб қолинган ҳолда ишлов бериш тезлигининг юқори чегараси қийматларига ўта яқин бўлган ЭА айланиш частотасининг энг мақбул кўлами аниқланди (6-,7-расм).



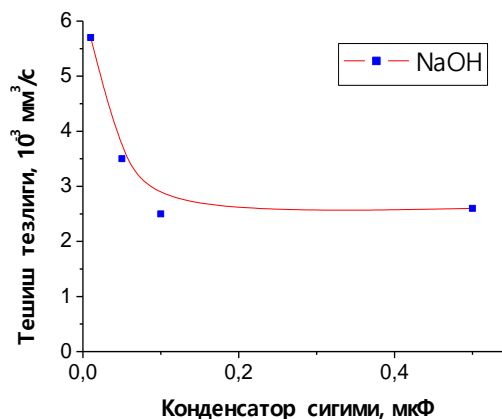
6-расм. NaCl тузининг 6%ли сувли эритмасида тешиш тезлигининг катод айланиш тезлигига боғлиқлиги, T=const, C=0,05 мкФ, P=40 Вт.



7-расм. NaOH ишқорининг 6%ли сувли эритмасида тешиш тезлигининг катод айланиш тезлигига боғлиқлиги, T=const, C=0,05 мкФ, P=40 Вт.

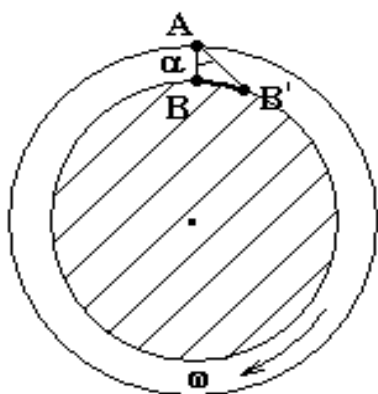


8-расм. NaCl ни 6% ли сувли эритмасида тешиш тезлигининг конденсатор сигимига боғлиқлиги, $d_c=1,5\text{мм}$, $T=\text{const.}$, $P=40\text{ Вт}$.



9-расм. 6%ли NaOH ни сувли эритмасида тешиш тезлигининг конденсатор сигимига боғлиқлиги, $d_c=1,5\text{мм}$, $T=\text{const.}$, $P=40\text{ Вт}$.

Хансенга кўра кавитациявий ёрилиш генерацияси куйидагича юз беради: катод ва электролит пардаси орасидаги микроразряд ҳисобига; ультратовуш частотаси тебраниши ҳисобига.



10-расм. Электрод асбоб кўндаланг юзаси.

Электроэрозиявий ишлов беришда ультратовуш манбаси сифатида шубҳасиз, катод айланиши ҳисобига электр ёйининг узилишини олишимиз мумкин. Буни 10-расм маълумотлари орқали тасвирлаш мумкин.

Расмнинг чизик тортилган қисми ω бурчак тезлик билан айланма ҳаракатланувчи, катод t вақт лаҳзасида, маъно жиҳатдан анод ҳисобланувчи электролитнинг юпқа пардасидаги A нукта ва катод юзасидаги B нуктани микроёй билан улайди. Нукта $t'=t+\Delta t$ вақт лаҳзасида B нуктадан B' ҳолатга кўчади. Бунда ёйининг узилишига шароит

яратилади. Куйидаги тенгламага асосан:

$$K = \operatorname{tg} \alpha = \frac{BB'}{AB} = \frac{R\omega\Delta t}{h} \quad (1)$$

Куйидагини оламиз:

$$\Delta t = \frac{Kh}{R\omega} \quad (2)$$

Амалда ишлатилаётган қийматларга яқин катталикларни ўрнига қўйиб, ($h=0,01\text{мм}$, $R=1\text{мм}$, $\omega=40\text{с}^{-1}$) $\Delta t=2,5 \cdot 10^{-4}\text{К}$ (секунд) шартлар асосида ҳисоблаймиз.

Бу ерда K – 0,1 тартибдаги сон, катталик $\Delta t=2,5 \cdot 10^{-5}\text{с}$ га тенг, шунга мос келувчи тебранишлар частотаси $f=1/\Delta t=40\text{кГц}$, бу эса ультратовушлар кўламига тўғри келади.

Ўтказилган тажрибаларга кўра, ишлов беришнинг энг юқори тезлиги айнан мана шу кўламдаги частоталарга тўғри келади. Формуладан (3) кўриниб

турибдики, электрод асбоб радиусининг ошиб бориши айланишлар энг мақбул тезлигининг пасайишига олиб келиши керак, хусусан, бу нарса, биз ўтказган тажрибаларда кузатилади. Бу ишлов берилаётган диэлектрикнинг кавитациявий-эрозиявий механизм асосида емирилишини билвосита тасдиқлайди.

Энди импульсли тож разряд (ИТР) таъсирида суюқ электролитдаги қаттиқ жисм сиртида газ пуфакчаси ҳосил бўлиши ва кейин ёрилишини кўриб чиқамиз. Бундай R_0 радиусли пуфакчани ҳосил бўлишдаги бажарилган иш қуйидагига тенг:

$$A = \int_0^{R_0} \left(p + \frac{2\sigma}{R} \right) 4\pi r^2 dR = \frac{4\pi}{3} p R_0^3 + 4\pi\sigma R_0^2 \quad (3)$$

Бу ерда, P – суюқликка ташқи босим, σ – электролитнинг сирт таранглик коэффициентини. Пуфакчанинг ёрилишида атомларни қаттиқ жисмдан узиб олувчи энергия ажралиб чиқади:

$$A = Nw = SLwn \quad (4)$$

Бу ерда, n – қаттиқ жисм зичлиги, w – когезия энергияси, S ва L – ҳосил бўлган ковакчанинг катталиклари (11- расм).

Ўзгартириш коэффициентини γ киритиб (< 1), қувват сақланиш қонунини ёзамиз:

$$\gamma IU = \frac{dL}{dt} Swn \quad (5)$$

Бундан (5) ковакчани L_{max} чуқурликда тешиш вақтини топамиз:

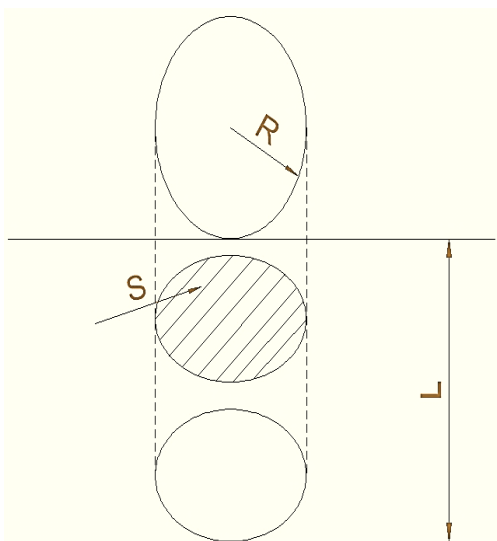
$$L_{max} = \frac{1}{Swn} \gamma IUt \quad (6)$$

Тажрибада бундан (7) ўзгартириш коэффициентини аниқлаш мумкинлигини қайд қиламиз:

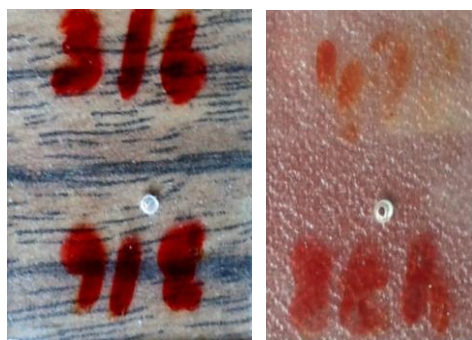
$$\gamma = \frac{L_{max} Swn}{IUt} \quad (7)$$

Ҳажмий тешиш тезлигининг тўйинганликка боғлиқлигининг амалий ва назарий эгри чизиклари мос тушганлигининг далили жараённинг кавитациявий-эрозиявий моҳиятини тасдиқлайди.

Электроэрозиявий ишлов бериш усули имкониятлари 12-расмдаги суратда кўрсатилган, 1 ммли фотоойна намунасида 100 мкмли тешик очилган.



11-расм. Қаттиқ жисм яқинидаги пуфакча кавитациясининг чизгиси.



12-расм. 100 мкм тешикли намуналар.

ХУЛОСАЛАР

1. Диэлектрикларга ишлов берувчи электроэрозиявий қурилма ишлаб чиқилган бўлиб, бунда биринчи дафъа қўлланган янги қисмлар, сузувчи каллак кўринишидаги махсус изқувар мувозанатловчи тизим, тебраниш ютувчи намуна туткичлар мўрт ва юпка диэлектрик ва яримўтказгич тахталарни синдирмасдан ишлов имкониятини берган ҳамда катод айланишини бошқарувчи тизимнинг қўлланилиши ўтказмайдиган материалларни ишлов бериш тезлигини оширган.

2. Калий ва натрий ишқорлари, шунингдек, ош тузи электролитлари сувли эритмаларининг вольтампер хусусиятларида ток зичлигининг то энг пастки нуқтагача ўзига хос камайиши ўрнатилган, бу эса буғ-газ қобик ҳосил бўлиши ва яшаш вақти ~5мс бўлган буғ-газ қатламдан сакраб ўтувчи импульс разрядларнинг қизғин юзага келиши билан боғлиқ.

3. Катод олди соҳаларидаги плазма қатламнинг доимий мавжудлик шартларидан бири ток зичлигининг йиғиндиси эканлиги ва бу NaOH, KOH учун бор-йўғи $\sim 0,5 \text{ A/cm}^2$, NaCl электролитнинг сувли эритмаси учун эса бир тартибдан ҳам юқорида ва $\sim 9 \text{ A/cm}^2$ ни ташкил қилиши ўрнатилган, бунда NaCl, NaOH ва KOH электролитларининг сувли эритмаларидаги катод олди соҳаларида импульс электр разрядларининг қизғин кечиши учун тўйинганликнинг 6% дан кам бўлмаслигини таъминлаш лозим, тўйинганликни янада ошириш амалда критик ток зичлигининг ошишига таъсир қилмайди.

4. Электролитлардаги диэлектрикларга ишлов беришда дастлабки импульсли электр разрядларни юзага келтирувчи ток зичлигининг электродлар оралиғига ва катод юзаси чегараланганда ботиш чуқурлигига боғлиқ эмаслиги аниқланган, бу эса электроэрозиявий жараёни плазма қобик ҳосил бўлиш орқали амалга ошишини тасдиқлайди.

5. Электроэрозиявий ишлов бериш жараёнининг электр катталиклари катод яқинидаги пуфакчали буғ-газ қатлам доимийлигига ва электр разрядлари қизғин содир бўлишига кучли таъсир қилиши аниқланган, хусусан, NaCl электролитнинг сувли эритмасидаги электродлар оралиғига сарфланаётган электр қувватининг ошиши тешиш тезлигининг чизиқли равишда то 4 мм/дақ. гача ошишига олиб келган. Ҳар бир турдаги ишлатилган 6% ли NaCl и NaOH электролитларининг сувли эритмалари учун конденсатор сифимининг энг мақбул кўлами аниқланган, у мос равишда $0,1 \pm 0,02 \text{ мкФ}$ ва $0,02 \text{ мкФ} \pm 0,004 \text{ мкФ}$ ларни ташкил қилади.

6. Катод айланиши сабабли электр учқунининг узилиш вақтида, катод ва электролитнинг юпка пардаси ўртасидаги микроразряд ҳисобига содир бўлаётган, катод кенглигида жамланган, юқори частотали тўлқинлар юзага келиши аниқланган. Юқори частотали тўлқинлар частотаси ҳисобланадиган математик ифода олинган, унга кўра тебраниш частотаси 40 кГц ни ташкил қилади, бу эса ультратовуш кўламига мос келади. Назарий ҳисоб-китоблар, берилаётган қувват ўзгармаганда катод диаметри кичкиналаштирилганда ҳамда электрод айланишлар сонини кўпайтирилганда ишлов бериш тезлигининг ошиши каби далиллар билан тасдиқланган.

7. Пуфакчалар ёрилиши ҳисобига юзага келувчи кавитация таъсири ҳодисаси билан электролит муҳитдаги диэлектриклар емирилиши жараёнини тушунтирувчи физик механизм таклиф қилинган. Қаттиқ жисм сирти яқинидаги пуфакчанинг кавитациявий чизгиси ясалган, шунингдек, электр импульси – металл – электролит – диэлектрик тизимининг ўзаро таъсирини тавсифловчи, мос келувчи ўзгариш коэффициентини қўллаганда кузатилаётган жараёнлар билан қониқарли даражада уйғун бўлган тенглама ифодаси таклиф қилинган.

8. Илк бор полиэлектролитларга қўлланилган, электролит тўйинганлиги ошиши билан сирт таранглик коэффициентининг пасайишини тушунтирувчи кенгайтирилган конденсатор модели таклиф қилинган. Сирт таранглик коэффициенти ва тешиш тезлигининг тўйинганлик билан боғлиқликларига алоқадор тажрибаларга назариянинг уйғунлиги кавитациявий фаразларнинг мос келишига далолат қилади.

**НАУЧНЫЙ СОВЕТ DSc.30.05.2018.FM/Т.65.01 ПО ПРИСУЖДЕНИЮ
УЧЕНЫХ СТЕПЕНЕЙ ПРИ ИНСТИТУТЕ ИОННО-ПЛАЗМЕННЫХ
И ЛАЗЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ**

ИНСТИТУТ ИОННО-ПЛАЗМЕННЫХ И ЛАЗЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

ЗАРИПОВ АБДУЖАППАР АБДУРАЗАКОВИЧ

**ПРОЦЕССЫ ПРИ ЭЛЕКТРОЭРОЗИОННОЙ ОБРАБОТКЕ
ДИЭЛЕКТРИКОВ**

01.04.04 – Физическая электроника

**АВТОРЕФЕРАТ ДИССЕРТАЦИИ ДОКТОРА ФИЛОСОФИИ (PhD)
ПО ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИМ НАУКАМ**

Ташкент–2019

Тема диссертации доктора философии (PhD) по физико-математическим наукам зарегистрирована в Высшей аттестационной комиссии при Кабинете Министров Республики Узбекистан за № В2017.4.PhD/FM157.

Диссертация выполнена в Институте ионно-плазменных и лазерных технологий Академии наук Республики Узбекистан.

Автореферат диссертации на трех языках (узбекский, русский, английский (резюме)) размещен на веб-странице по адресу fti.uz и на Информационно-образовательном портале «ZiyoNet» по адресу www.ziyo.net.uz.

Научный руководитель: **Ашуров Хатам Бахронович**
доктор технических наук, профессор

Официальные оппоненты: **Тураев Назар Юлдашевич**
доктор физико-математических наук, академик

Ташатов Алланазар Каршиевич
доктор физико-математических наук, доцент

Ведущая организация: **Ташкентский государственный технический университет**

Защита состоится «___» _____ 2019 г. в _____ часов на заседании Научного совета DSc.30.05.2018.FM/T.65.01 по присуждению ученых степеней при Институте ионно-плазменных и лазерных технологий АН РУз. (Адрес: 100125, г. Ташкент, ул. Дурмон йули, 33. Тел./Факс: (99871) 262–32–54, e-mail: info@iplt.uz).

С диссертацией можно ознакомиться в Информационно-ресурсном центре Института ионно-плазменных и лазерных технологий (зарегистрирована за № _____). Адрес: 100125, г. Ташкент, ул. Дурмон йули, 33. Тел.: (99871) 262–31–69.

Автореферат диссертации разослан «___» _____ 2019 года.
(реестр протокола рассылки № _____ от _____ 2019 года).



С.С. Курбанов
Заместитель председателя Научного совета по присуждению ученых степеней, д. ф.-м. н., с.н.с.

Д.Т. Усманов
ученый секретарь Научного совета по присуждению ученых степеней, д. ф.-м. н., с.н.с.



Б.Е. Умирзаков
председатель научного семинара при Научном совете по присуждению ученых степеней, д. ф.-м. н., профессор

ВВЕДЕНИЕ (аннотация диссертации доктора философии (PhD))

Актуальность и востребованность темы диссертации. В настоящее время в мире в таких отраслях современной промышленности как машиностроение, микроэлектроника, ракетостроение вместо металлов начали активно использовать новые композиционные материалы из керамики и других плохо проводящих веществ. Эти композиты являются стойкими к коррозии и эрозии, более легкими, термостойкими и износостойкими, но главным образом дешевле металлов. Однако их обработка традиционными методами десятикратно превышает себестоимость самих материалов. В некоторых случаях их механическая обработка почти невозможна. Поэтому одной из важных и актуальных проблем является обработка «новых» композиционных материалов с помощью альтернативных методов. Исследования по установлению природы приэлектродных процессов при обработке импульсными электрическими разрядами для дальнейшего практического применения метода являются одной из важнейших задач.

На сегодняшний день в мире важная роль в промышленности отводится применению и удешевлению обработки новых композиционных материалов, а также использованию электрической эрозии для обработки новых композитов, обеспечивающих гарантийный срок службы и снижение себестоимости используемых материалов, определению и изучению механизмов воздействия; определению зависимостей между производительностью и технологическими параметрами; выяснению условий постоянства плазменного слоя вокруг катода в водных растворах электролитов. Большое значение в современной науке и промышленности имеют исследования по расчету теоретических данных и сравнению с практическими результатами; поиску оптимальных параметров обработки полупроводников и непроводящих материалов.

В настоящее время в Республике Узбекистан активно проводятся научно-исследовательские и инновационные работы по актуальным проблемам физики. В стратегии действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистан особое внимание обращается на вопросы создания механизмов применения в практике достижений науки и инноваций. Актуальной научной задачей современной физики приэлектродных процессов с точки зрения приложений к реальности является формирование математических моделей. Полученные результаты будут иметь большие перспективы при разработке новых станков и устройств для обработки непроводящих материалов импульсными электрическими разрядами.

Данное диссертационное исследование в определенной степени служит выполнению задач, предусмотренных в Указе Президента Республики Узбекистан №-УП-4947 от 7 февраля 2017 года «О мерах по дальнейшей реализации Стратегии действий по развитию Республики Узбекистан в 2017–2021 гг.» и №-ПП-2789 от 17 февраля 2017 года «О мерах по дальнейшему совершенствованию деятельности Академии наук, организации, управления и финансирования научно-исследовательской деятельности», а также в других нормативно-правовых документах, принятых в данной сфере.

Соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологий республики. Диссертация выполнена в рамках приоритетных направлений развития науки и технологий Республики Узбекистан – III. «Энергетика, энерго- и ресурсосбережение, транспорт, машино- и приборостроение; развитие современной электроники, микроэлектроники, фотоники, электронного приборостроения» и II. «Физика, астрономия, энергетика и машиностроение».

Степень изученности проблемы. На сегодняшний день разными зарубежными научными центрами был выполнен ряд научных исследований по обработке непроводящих материалов. Например, определенный вклад в развитие технологии обработки диэлектрических материалов электроэрозионным методом внесли японские ученые N. Mohri, Y. Fukuzawa (1998); эта технология основана на создании искусственной проводимости в материале. Ученые R. Wüthrich и H. Bleuler для обработки диэлектрика предложили использовать комбинированные электрохимические электроэрозионные методы (2005). По их заключению эрозионная обработка происходит через газовый слой, состоящий из пузырей между анодом и катодом. Китайские ученые Y.H. Liu, R.J. Ji предложили комбинирование электрохимических и электрических методов с использованием вспомогательного электрода (2008), используя в качестве вспомогательного электрода тонкий медный лист, они смогли обработать большие области поверхности изоляционной керамики.

В нашей стране исследования по изучению механизмов воздействия электрических импульсов на слабопроводящие материалы проводились под руководством Э.Т. Абдукаримова (2001).

В настоящее время наблюдается оживление в обработке композитов с применением электрофизических методов. Экспериментами доказано наличие разнообразия и широких возможностей обработки непроводящих материалов нетрадиционными методами. Использование атомно-силовой микроскопии и широкое применение проверенных временем методов при изучении механизма процессов, происходящих на поверхности твердого тела под воздействием электроэрозии, дали возможность высокоточного определения физико-химических параметров кавитации пузырьков.

Однако до начала работы по настоящей диссертации не было систематической информации по механизму, который освещает и описывает физическую природу процессов нетрадиционных методов обработки непроводящих и полупроводниковых материалов. Среди таких систематических сведений необходимо было выявить физические процессы и экспериментальные условия, в которых обеспечиваются постоянство и стабильность кавитационного явления, возникающего под косвенным воздействием электроэрозии на диэлектрические образцы, опущенные в электролиты.

Связь темы диссертации с научно-исследовательскими работами научно-исследовательского учреждения, где выполнена диссертация. Диссертационная работа была выполнена в рамках исследований следующих проектов Института ионно-плазменных и лазерных технологий АН РУз: ФА-А4-Ф057 «Разработка технологической схемы производства поликристал-

лического кремния» (2012–2016 гг.); А13-159 «Разработка совмещенной прецизионной электроэрозионной технологии изготовления щелей и длинномерных отверстий в различных материалах» (2006–2008 гг.); П19-36 «Разработка методов обработки нетрадиционных материалов с помощью электроэрозии» (2002–2005 гг.); П.3.6.1.2 «Разработка технологии размерной обработки высокоомных материалов с помощью электрического разряда (электроэрозии)» (2000–2002 гг.).

Целью исследования являются выявление физической природы процессов электроэрозионной обработки непроводящих материалов и определение механизмов взаимодействия формируемого высокочастотного импульсного электрического разряда с поверхностью диэлектрика.

Задачи исследования:

разработка электроэрозионной установки для обработки диэлектрических и полупроводниковых материалов;

определение вольтамперных характеристик, условий образования и закономерностей появления плазменного парогазового слоя в электролитах;

выяснение условий продолжительности, стабильности и постоянства плазменного парогазового слоя вблизи катода;

определение зависимостей критической плотности тока импульсного электрического разряда в электролитах от физико-технических параметров анода;

установление влияния электрических параметров и расходуемой электрической мощности на производительность прошивки;

выявление физической природы и характера разрушительного воздействия основных механизмов обработки непроводящих материалов.

Объектом исследования служили фотопластинки (SiO_2 – 68,4%; CaO – 8,5%; Na_2O – 9,4%; K_2O – 7,1%; Al_2O_3 – 3,9%; B_2O_3 – 2,7%), керамика (Al_2O_3 – 28%; Cr – 72 %), оптическое стекло (PbO – 53,2%; SiO_2 – 41,4%; K_2O – 5,4%), поликристаллический кремний.

Предметом исследования служили закономерности и физические механизмы формирования плазменного факела у катода в электролитах, выбор рабочей среды, механизм разрушительного воздействия кавитации.

Методы исследования: вольтамперная характеристика (ВАХ), вольттемпературная характеристика (ВТХ), растровая электронная микроскопия (РЭМ), атомно-силовая микроскопия (АСМ).

Научная новизна исследования заключается в следующем:

разработана универсальная электроэрозионная установка, позволяющая обрабатывать диэлектрические и полупроводниковые материалы;

выявлено условие образования парогазового слоя вблизи катода в электролитах, закономерности образования плазменной оболочки, определены вольтамперные характеристики;

определены условия продолжительности, стабильности и постоянства плазменного слоя вблизи катода;

найжены зависимости критической плотности тока от физико-технических величин анода при импульсных электрических разрядах в электролитах;

выявлено влияние электрических параметров и затраченной электрической мощности на скорость прошивки;

обоснован физический механизм процесса эрозии диэлектриков в электролитической среде, объясняющий это явление на основе кавитации;

разработана расширенная конденсаторная модель, объясняющая понижение поверхностного натяжения с увеличением концентрации электролита.

Практические результаты исследования заключаются в следующем:

выявленные в работе новые результаты представляют большой интерес для физики приэлектродных процессов и взаимодействия электрического разряда с поверхностью твердого тела, способствуют расширению представлений о процессах протекания тока в электролите и могут быть использованы для развития существующих теоретических моделей;

полученные данные экспериментальных исследований в области нетрадиционной электроэрозионной обработки диэлектриков важны для определения роли и расширения применения в промышленности этих композиционных материалов, механизм кавитации позволит анализировать процессы, происходящие вблизи катода в электролитах;

выявленные закономерности при прошивке стеклянных пластин могут быть использованы при обработке непроводящих и высокоомных керамических композитов. Полученные результаты могут служить в качестве научной базы для развития обработки диэлектриков.

Достоверность результатов исследования подтверждается тем, что они получены с применением современных и проверенных временем методов исследования и обработки данных. Каждый опыт был проведен по меньшей мере 3÷5 раз, тем самым рассчитаны среднестатистические и абсолютные ошибки путем использования компьютерной программы Origin Pro. Выводы, полученные из экспериментальных результатов и их анализа, основываются на базовых положениях теоретических исследований рассматриваемых объектов и согласуются с результатами других авторов.

Научная и практическая значимость результатов исследования. Полученные результаты научных исследований позволяют объяснить механизмы формирования и физические свойства плазменного факела вблизи катода и разрушительное влияние кавитации на поверхность материалов различной природной проводимости и являются фундаментальной базой для развития теории кавитации при импульсном электрическом разряде.

Практическое значение результатов исследования состоит в том, что они дают возможность применения в полиэлектролитах расширенной конденсаторной модели для металлов. А также использованные подходы, методы и выявленные механизмы послужат основой для новых методов обработки плохо проводящих материалов, в том числе для резки высокоомного поликристаллического кремния, используемого в приборах твердотельной электроники и солнечной энергетики.

Внедрение результатов исследования.

На основе выявленных результатов физической природы процессов электроэрозионной обработки непроводящих материалов и механизмов взаимодействия формируемого высокочастотного импульсного электрического разряда с поверхностью диэлектрика:

результаты зависимости между скоростью прошивки и ее физическими величинами, условия продолжительности, постоянства и стабильности плазменного слоя, по феноменальному механизму кавитации были применены при прошивке полимерных изоляторов на Арматурно-изоляторном заводе г. Ангрена (Справка № ХШ01-23.676 Акционерного общества «Узбекэнерго» от 1 мая 2019 года). Использование научных результатов позволяет повысить производительность обработки и стойкость полимерного образца;

результаты зависимости плазменного слоя в прикатодной области от импульсных электрических разрядов и электроэрозионный механизм обработки в электролитической среде были применены для прошивки контактных дырок в полупроводниках и диэлектриках в практическом проекте А-4-7 «Разработка технологий синтеза гетероэпитаксиальных структур в приповерхностной области монокристалльных пленок кремния и арсенида галлия для приборов микро- и оптоэлектроники, в том числе солнечной энергетики» (Справка №89-03-1749 Министерства высшего образования Республики Узбекистан от 2 мая 2019 года). Использование научных результатов даёт возможность прошивать высокоточные отверстия в полупроводниках и диэлектрических материалах.

Апробация результатов исследования. Результаты данного исследования были обсуждены на 7 международных и республиканских научно-практических конференциях.

Публикация результатов исследования. По теме диссертации опубликовано 18 научных работ, из них 7 статей в изданиях, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией Республики Узбекистан для публикации основных научных результатов диссертаций, в том числе 3 – в зарубежных журналах.

Структура и объем диссертации. Структура диссертации состоит из введения, четырех глав, заключения, списка использованной литературы, приложений. Объем диссертации составляет 125 страниц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во введении обосновываются актуальность и востребованность проведенного исследования, цель и задачи исследования, характеризуются объект и предмет исследования. Показано соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологий республики, излагаются научная новизна и практические результаты исследования, раскрываются научная и практическая значимость полученных результатов, внедрение в практику результатов исследования, сведения по опубликованным работам и структуре диссертации.

В первой главе диссертации «**Обзор работ по исследованию воздействий импульсных электрических разрядов на поверхность**» проанализированы современные представления об электроэрозионной обработке материалов различного рода проводимости, анализируются литературные данные о создании проводимости на обрабатываемой поверхности образца и изучению предложенных методов для глубинной обработки.

Особое внимание уделяется предложенным механизмам обработки, описывающим суть процесса, и физическим основам электроэрозионной обработки проводящих керамических композитов. Предложенные методы обработки диэлектриков с применением электрического разряда можно сгруппировать в три большие группы: обработка с созданием электропроводящего слоя; обработка с помощью вспомогательного электрода; обработка с использованием химических реагентов.

На основе анализа имеющихся теоретических и экспериментальных данных выявлены основные проблемы современной электроэрозионной обработки диэлектриков, связанные с неопределенностью обоснования механизма воздействия на поверхность диэлектрика, что послужило основой для формулировки целей и задач данной диссертационной работы.

Во второй главе диссертации «**Экспериментальная установка и методика измерений**» описаны экспериментальная установка, а также тахометр и компенсирующая система с демпфером. Представлены этапы проведения исследований, а также материалы и методы, использованные при их выполнении, в частности, приведен подробный классический анализ распределения напряжения в цепи электролита.

Описаны методы исследования, где в качестве основных методов исследования электрических импульсов в электролитах служили вольтамперные и вольттемпературные характеристики (ВАХ и ВТХ).

Для получения информации по микрорельефу поверхности и изучения шероховатости использованы стандартные установки: растровый электронный микроскоп («JEOL») и атомно-силовой микроскоп

В третьей главе диссертации «**Электрический разряд в электролитах**» представлены данные об исследованиях вольтамперных характеристик (ВАХ) в водных растворах. Изучение ВАХ в различных условиях позволило выявить, что эти зависимости имеют общий характер и содержат четыре переходных режима. Показано, что характеристики переходных режимов зависят как от электрических величин (I , U , R , J и т.д.), так и от типа электролита, его плотности, т.е. концентрации химического реактива, но не зависят от межэлектродного расстояния.

Развитие процесса протекания тока в водных растворах электролитов NaCl и NaOH при различных концентрациях можно проследить по интегральной ВАХ (рис. 1, 2). На представленной кривой ВАХ можно выделить 4 участка, обусловленных различными режимами протекания тока.

Режимы 1 и 2 находятся в области, где сопротивление МЭП при изменении напряжения при данной температуре и концентрации NaCl в растворе практически не изменяется.

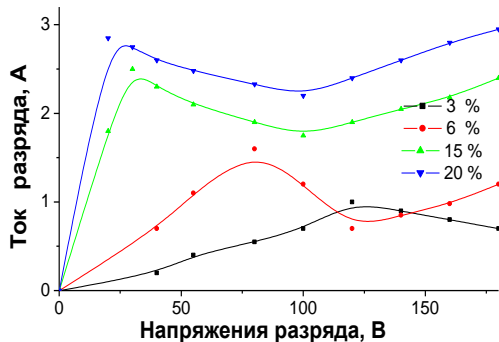


Рис. 1. ВАХ электролита NaCl при различных концентрациях соли в водном растворе

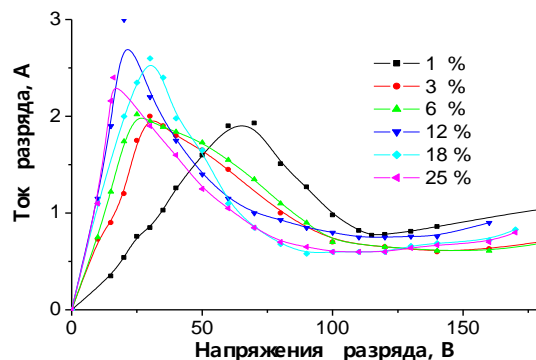


Рис. 2. ВАХ электролита NaOH при различных концентрациях щелочи в водном растворе

В режиме 3 по мере увеличения величины тока нарастают электрохимические процессы в электролите, и зависимость становится нелинейной.

Этот режим формирования сплошного газового слоя сопровождается импульсными разрядами и соответствует падающей части ВАХ.

Заканчивается этот режим тем, что на поверхности катода образуется парогазовая оболочка с характерным временем существования, которая составляет порядка 5 мс (рис. 3). Как видно из осциллограммы на рис. 3, имеет место скачкообразное возрастание напряжения на МЭП, и резко снижается величина тока от 2 до 0,1 А.

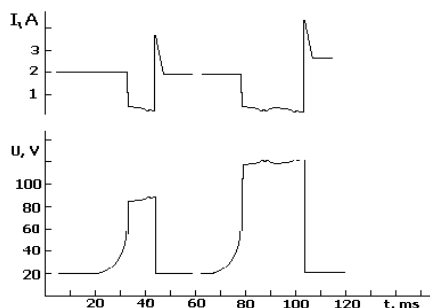


Рис. 3. Осциллограмма тока и напряжения в точке максимума образования электрических импульсов

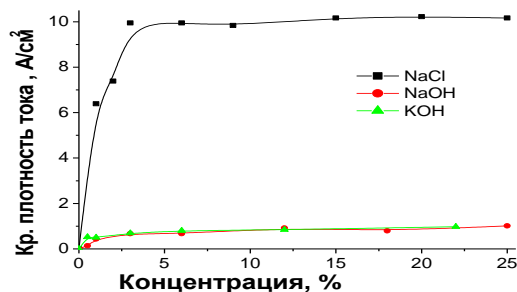


Рис. 4. Зависимость критической плотности тока от концентрации рабочего реагента в различных электролитах

Приложенное от источника напряжение в основном приходится на межэлектродный зазор. Так как сопротивление электролита мало и практически не изменяется при постоянстве температуры электролита, электрическое поле сосредоточивается в области пузырьковой парогазовой оболочки с малой толщиной слоя $\sim 0,5$ мм, возникающей между электролитом и катодом, а резкое возрастание напряженности поля создает условие для возникновения нестационарных процессов, которые могут сопровождаться разрядами.

Режим 4 характерен тем, что слой вокруг катода стабилизируется и его существование сопровождается многочисленными газовыми разрядами, в ходе которых катод может разогреваться до температуры плавления.

Плотность тока, при которой возникают первоначальные разряды вблизи катода, условно названа нами критической. На рис. 4 показана зависимость критической плотности тока от концентрации водных растворов электролитов при разных глубинах погружения катода в данную среду. Напряжение и плотность токов, при которых возникает плазменный факел, как следует из ВАХ и зависимости критической плотности от концентрации для исследованных электролитов (рис. 4), зависят как от концентрации, так и от состава электролита.

В четвертой главе диссертации «Электроэрозионная обработка диэлектриков» представлены в основном практические данные и теоретические расчеты, связанные с обработкой непроводящих материалов.

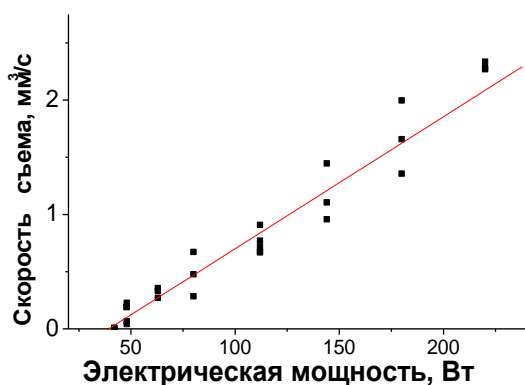


Рис. 5. Зависимость объемной скорости съема от мощности в 6%-ном электролите NaCl, T=const, C=0,5 мкФ

Нами было исследовано влияние расходуемой электрической мощности на скорость обработки оптического стекла при прошивке с электродом-инструментом, выполненным из вольфрамовой проволоки диаметром 1,5 мм. (рис. 5). С помощью генератора электрических импульсов задают их периодичность и регулируют напряженность электрического поля периодических электрических разрядов. В точках, где напряженность электрического поля достигает максимума, происходит электрический разряд. Под действием электрического поля электроны и свободные положительные ионы разгоняются до высоких скоростей и моментально образуют ионизационный туннель, обладающий высокой электрической проводимостью. В нем начинает пробегать электроток и между электродом и заготовкой возникает электроимпульсный разряд, приводящий к столкновениям элементарных частиц.

Проведены исследования зависимости скорости объемной прошивки стеклянных заготовок на основе фотопластинок толщиной 1 мм от частоты оборотов электрода инструмента (ЭИ).

Определен оптимальный диапазон варьирования частоты оборотов ЭИ, в пределах которого скорость обработки лежит вблизи максимальных значений (рис. 6, 7) при обеспечении приемлемого качества шероховатости стенок прошиваемого отверстия.

Например, для водного раствора электролита NaCl при концентрации 6% и емкости 0,1 мкФ (а для NaOH 0,2 мкФ), при которой характерные частоты импульса разряда находятся в ультразвуковом диапазоне частот, которая видна на рис.8, 9, скорость обработки возрастает с уменьшением величины емкости и достигает максимального значения. Это подтверждается осциллографическими наблюдениями с применением осциллографа С1-75. В конечном счете это приводит к увеличению скорости объемного съема материала заготовки из

фотостекла почти в два раза, сокращению времени обработки во столько же раз и к улучшению шероховатости, которая наблюдается как с помощью микроскопа, так и визуально. Однако помимо этого есть еще одно составляющее, о котором пойдет речь ниже.

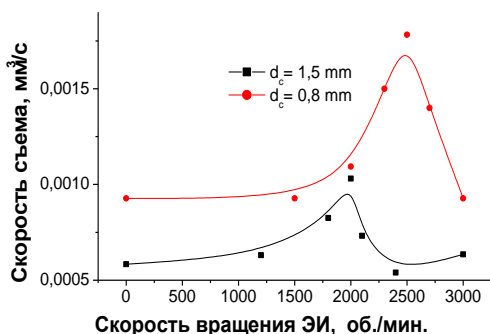


Рис. 6. Зависимость скорости съема от вращения ЭИ в 6%-ном водном растворе электролита NaCl, $T=const$, $C=0,05$ мкФ, $P=40$ Вт

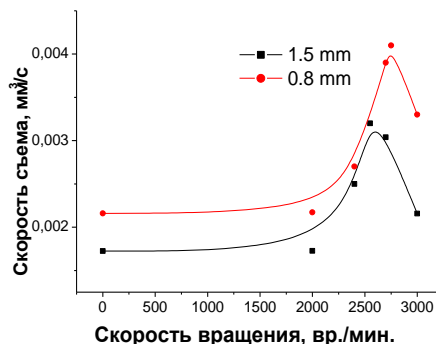


Рис. 7. Зависимость скорости съема от вращения ЭИ в 6%-ном водном растворе электролита NaOH, $T=const$, $C=0,05$ мкФ, $P=40$ Вт

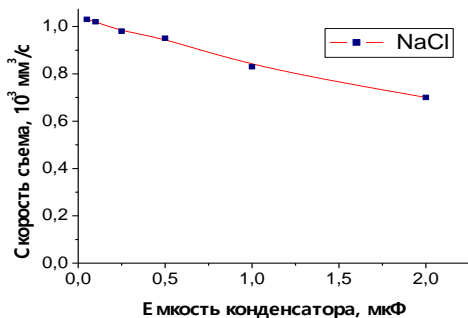


Рис. 8. Зависимость объемной скорости съема от емкости конденсатора в 6%-ном водном растворе электролита NaCl при $d_c=1,5$ мм, $T=const.$, $P=40$ Вт

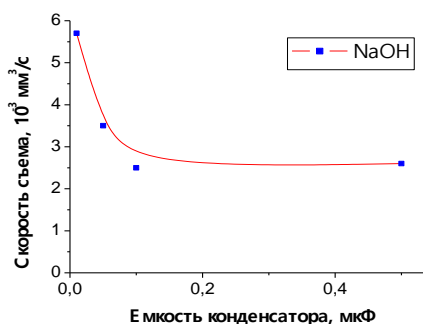


Рис.9. Зависимость объемной скорости съема от емкости конденсатора в 6%-ном водном растворе электролита NaOH при $d_c=1,5$ мм, $T=const.$, $P=40$ Вт

Генерация кавитационного схлопывания осуществляется, согласно Хансену, за счет микроарзряда между катодом и пленкой электролита за счет колебаний ультразвуковой частоты.

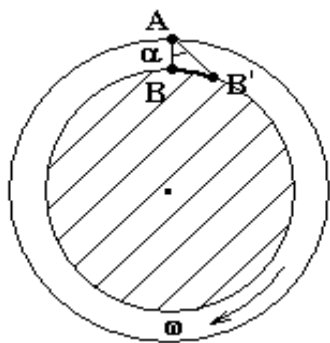


Рис. 10. Схема поперечного сечения электрода инструмента

Несомненно, что в качестве одного из источников ультразвука при электроэрозионной обработке необходимо рассматривать прерывание электрического разряда при вращении катода. Это можно описать с использованием данных рис. 10.

Заштрихованная часть на рисунке представляет собой вращающийся с угловой скоростью ω катод. В момент времени t точка A на поверхности пленки электролита, являющейся по сути анодом и точка B на поверхности катода соединены микродугой. В момент времени $t'=t+\Delta t$ точка B перемещается в

положение B' . При этом создаются условия для разрыва дуги. В соответствии с соотношением

$$K = tg\alpha = \frac{BB'}{AB} = \frac{R\omega\Delta t}{h} \quad (1)$$

получаем

$$\Delta t = \frac{Kh}{R\omega} \quad (2)$$

Подставляя значение параметров, близкое к реализуемым на практике, получаем при ($h=0,01$ мм, $R=1$ мм, $\omega=40c^{-1}$) $\Delta t=K*2,5*10^{-4}$ (секунд).

Так как здесь K —число порядка 0,1, то величина $\Delta t=2,5\cdot 10^{-5}$ с, а величина соответствующей ей частоты колебаний $f=1/\Delta t=40кГц$, что соответствует ультразвуковому диапазону частот.

Как следует из проведенных экспериментов, максимальная скорость обработки наблюдается именно в области этих частот. Из формулы (3) следует, что с увеличением радиуса электрода-инструмента оптимальная частота оборотов должна снижаться, что, собственно, и наблюдается в проведенных нами экспериментах. Это косвенно подтверждает возможность кавитационно-эрозионного механизма разрушения обрабатываемого диэлектрика.

Рассмотрим образование под действием импульсного коронного разряда (ИКР) газового пузырька в жидком электролите вблизи поверхности твердого тела с последующим его схлопыванием. Работа по образованию такого пузырька радиуса R_0 равна

$$A = \int_0^{R_0} \left(p + \frac{2\sigma}{R}\right) 4\pi r^2 dR = \frac{4\pi}{3} pR_0^3 + 4\pi\sigma R_0^2 \quad (3)$$

Здесь P – внешнее давление на жидкость, σ – поверхностное натяжение электролита. При схлопывании пузырька выделяется энергия, идущая на вырывание n атомов твердого тела:

$$A = Nw = SLwn \quad (4)$$

Здесь n – плотность твердого тела, w – энергия когезии, S и L – параметры образующейся каверны (рис.11).

Вводя коэффициент конверсии γ (< 1), запишем закон сохранения мощности

$$\gamma IU = \frac{dL}{dt} Swn \quad (5)$$

Из (5) получаем время пробивания каверны глубиной L_{max}

$$L_{max} = \frac{1}{Swn} \gamma IUt \quad (6)$$

Отметим, что из (7) можно экспериментально определить коэффициент конверсии

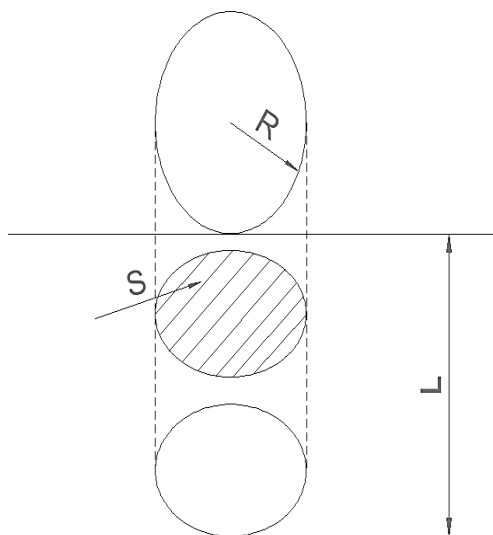


Рис. 11. Схема кавитации пузырька вблизи

$$\gamma = \frac{L_{max} S_{wn}}{IUt} \quad (7)$$

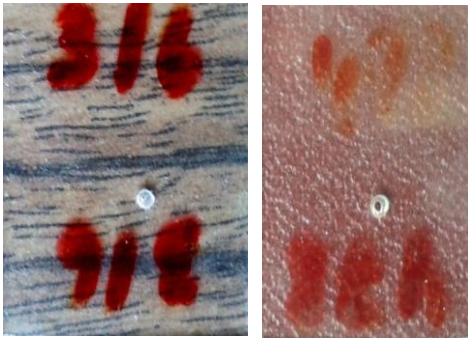


Рис.12. Образцы с диаметра отверстия 100 км

Факт совпадения теоретических и практических кривых зависимостей объемной скорости съема от концентрации подтверждает кавитационно-эрозионную концепцию.

На рис.12 проиллюстрирована возможность метода ЭЭО, прошта стеклянная заготовка толщиной 1мм из фотопластинки, диаметр отверстий 100 мкм, и это достижение не является пределом.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенного исследования и на основании полученных результатов сделаны следующие выводы.

1. Разработана установка для электроэрозионной обработки диэлектриков, где впервые были применены такие новые узлы, как специальная следящая компенсирующая система в виде плавающей головки, держатель образца с демпфирующим элементом, которые позволяли обрабатывать хрупкие и тонкие диэлектрические и полупроводниковые пластины без разрушения, система регулируемого вращения катода, использование которой повышает скорость обработки непроводящих материалов.

2. Установлено, что вольтамперные характеристики электролитов как на основе водных растворов щелочей калия и натрия, так и поваренной соли имеют характерное понижение плотности тока до минимума, которое связано с образованием парогазовой оболочки и интенсивным появлением импульсных электрических разрядов с характерным временем существования ~ 5 мс, обусловленных их проскакиванием через парогазовый слой.

3. Установлено, что одним из главных условий для постоянного существования плазменного слоя вокруг катода является интегральная плотность тока, которая составляет для водных растворов электролитов NaOH и KOH всего $\sim 0,5$ А/см², а для водного раствора электролита NaCl превышает такую более чем на порядок и составляет ~ 9 А/см², при этом для интенсивного протекания импульсных электрических разрядов в прикатодной области в водных растворах электролитов NaCl, NaOH и KOH необходимо обеспечить их концентрацию не менее 6%, причем дальнейшее увеличение концентрации практически не влияет на критическую плотность тока.

4. Выявлено, что плотность тока, при которой возникают первоначальные электрические импульсные разряды при обработке диэлектриков в электролитах, не зависит от межэлектродного зазора и при ограничении поверхности катода не зависит также от глубины погружения, что

подтверждает реализации электроэрозионного процесса через механизм образования плазменной оболочки.

5. Выявлено, что электрические параметры процесса электроэрозионной обработки сильно влияют на постоянство пузырькового парогазового слоя вблизи катода и на интенсивность электрических разрядов, в частности, увеличение расходуемой электрической мощности в межэлектродном промежутке водного раствора электролита NaCl приводит к линейному росту скорости прошивки, достигающей 4мм/мин. Определен оптимальный диапазон емкостей конденсатора для каждого из видов примененных 6%-ных водных растворов электролитов NaCl и NaOH, составляющих соответственно $0,1 \pm 0,02\text{мкФ}$ и $0,02\text{мкФ} \pm 0,004\text{мкФ}$.

6. Выявлено, что во время прерывания электрической искры, происходящей при вращении катода, за счет микроаряда между катодом и пленкой электролита возникает генерация высокочастотных волн, локализованных в прикатодном пространстве. Получено математическое выражение, по которому рассчитана частота колебаний высокочастотных волн, составляющая 40 кГц, что соответствует ультразвуковому диапазону частот. Теоретические расчеты подтверждаются фактом роста скорости обработки при уменьшении диаметра катода при неизменной прилагаемой мощности, а также с увеличением числа оборотов электрода.

7. Предложен физический механизм процесса эрозии диэлектриков в электролитической среде, объясняющий это явление воздействием кавитации, возникающей при схлопывании пузырьков. Построена схема кавитации пузырька вблизи поверхности твердого тела, а также составлено уравнение, описывающее взаимодействие системы электрический импульс – металл – электролит – диэлектрик, удовлетворительно согласующееся с наблюдаемыми процессами с применением соответствующих коэффициентов конверсии.

8. Применительно к полиэлектролитам впервые предложена расширенная конденсаторная модель, объясняющая понижения поверхностного натяжения с увеличением концентрации электролита. Качественное согласие теории с экспериментами, связанными с зависимостями поверхностного натяжения и скорости съема от концентрации, указывает на адекватность кавитационной гипотезы.

**SCIENTIFIC COUNCIL DSc.30.05.2018.FM/T.65.01 ON AWARDING OF
SCIENTIFIC DEGREES AT THE INSTITUTE OF ION-PLASMA AND
LASER TECHNOLOGIES**

INSTITUTE OF ION-PLASMA AND LASER TECHNOLOGIES

ZARIPOV ABDUJAPPAR ABDURAZAKOVICH

**PROCESSIONS OF ELECTRICAL DISCHARGE MACHINING BY
DIELECTRICALLY**

01.04.04 – Physical electronics

**ABSTRACT OF DISSERTATION OF THE DOCTOR OF PHILOSOPHY (PhD) ON
PHYSICAL AND MATHEMATICAL SCIENCES**

Tashkent – 2019

The theme of dissertation of doctor of philosophy (PhD) on physical and mathematical sciences was registered at the Supreme Attestation Commission at the Cabinet of Ministers of Republic of Uzbekistan under number № B2017.4.PhD/FM157.

Dissertation has been prepared at the Institute of Ion-plasma and laser technologies, Uzbekistan Academy of Sciences.

The abstract of the dissertation is posted in three languages (uzbek, russian, english (resume)) on the website (www.aie.uz) and the «Ziyonet» Information and educational portal (www.ziyonet.uz).

Scientific supervisor:

Ashurov Khatam Bahronovich
Doctor Technical Sciences, professor

Official opponents:

Turaev Nazar Yuldashevich
Doctor of Physical and Mathematical Sciences, academician

Tashatov Allanazar Karshiyevich
Doctor of Physical and Mathematical Sciences, associate professor

Leading organization:

Tashkent technical university

Defense will take place on «_____» _____ 2019 at _____ at the meeting of scientific council number DSc.30.05.2018. FM/T.65.01 at Institute of Ion-Plasma and Laser Technologies (Address: 100084, Uzbekistan, Tashkent, 33 Durmon yuli street. Phone/fax: (+99871) 262-32-54, e-mail: info@iplt.uz).

Dissertation is possible to review in Information-resource centre at Physical-technical institute (is registered № _____ Address: 100125, Uzbekistan, Tashkent, 33 Durmon yuli street. Phone/fax: (+99871) 262-31-69.

Abstract of dissertation sent out on «_____» _____ 2019

(Mailing report № _____ on «_____» _____ 2019)



S.S. Kurbanov

Deputy of chairman of scientific council on award of scientific degrees, Doctor of Technical Sciences, senior researcher.

D.T. Usmonov

Scientific secretary of scientific council on award of scientific degrees, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, senior researcher



B.E. Umrzakov

Chairman of scientific seminar under Scientific council on award of scientific degrees, Doctor of Physical and Mathematical Sciences., professor

INTRODUCTION (abstract of PhD thesis)

Now in the world in such branches of the modern industry as mechanical engineering, microelectronics, rocket science instead of metals began to use actively new composite materials from ceramics and other poorly conducting substances. These composites are corrosion and erosion resistant, lighter, heat resistant and wear resistant, but mostly very cheap than metals. But their processing by traditional methods tenfold exceeds the cost of these materials themselves. In some cases, their machining is almost impossible. Therefore, one of the important and urgent problems is the processing of "new " composite materials using alternative methods.

The aim of the research work is to identify the physical nature of the processes of electro erosion treatment of non-conductive materials and to determine the mechanisms of interaction of the formed high-frequency pulsed electric discharge with the dielectric surface.

The objects of research work. The object of the study were photographic plates of (SiO_2 -68,4%; CaO -8,5%; Na_2O -9,4%; K_2O -7,1%; Al_2O_3 -3,9%; B_2O_3 -2,7%), ceramics (Al_2O_3 - 28%; Cr -72 %), optical glass (PbO -53,2%; SiO_2 -41,4%; K_2O -5,4%) and polycrystalline silicon.

The scientific novelty of the research is as follows:

for the universal electro erosive installation allowing to process dielectric and semiconductor materials is developed;

for the condition of formation of a vapor-gas layer near the cathode in electrolytes, regularities of formation of a plasma shell are revealed and volt-ampere characteristics are defined;

for the conditions of duration, stability and constancy of the plasma layer near the cathode were determined;

the dependences of the critical current density on the physical and technical values of the anode at pulsed electrical discharges in electrolytes are found;

for the influence of electrical parameters and spent electrical power on the firmware speed was revealed;

for the physical mechanism of the process of erosion of dielectrics in an electrolytic medium, explaining this phenomenon on the basis of cavitation, is substantiated;

for the an extended capacitor model was developed to explain the decrease in surface tension with an increase in electrolyte concentration.

Implementation of the research results. On the basis of the revealed results of research of processes at electro erosive processing of dielectrics:

the results of the dependence between the speed of the firmware and its physical values, the conditions of duration, constancy and stability of the plasma layer, as well as the phenomenal cavitation mechanism were applied in the firmware of polymer insulators, in the Armature-insulator plant in Angren. (Joint stock company "Uzbekenergo" reference no. XSH01-23.676 dated may 1, 2019).

the use of scientific results makes it possible to increase the processing performance and durability of the polymer sample;

the results of the dependence of the plasma layer in the cathode region on pulsed electrical discharges and the electro erosive mechanism of processing in an electrolytic medium were used for piercing contact holes in semiconductors and dielectrics in the practical project A-4-7 «Development of technologies for the synthesis of heteroepitaxial structures in the near-surface region of single-crystal films of silicon and gallium arsenide for micro and optoelectronics devices, including solar energy». (Reference No. 89-03-1749 Ministry of Higher education of the Republic of Uzbekistan dated may 2, 2019). The use of scientific results makes it possible to sew high-precision holes in semiconductors and dielectric materials.

The outline of the thesis. The thesis consists of an introduction, four chapters, conclusion. The text of the dissertation is set out in 125 pages.

ЭЪЛОН КИЛИНГАН ИШЛАР РЎЙХАТИ
СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ
LIST OF PUBLISHED WORKS

I бўлим (I часть; I part)

1. Зарипов А.А., Ашуров Х.Б. Вклады различных факторов в процесс электроимпульсной обработки диэлектриков. // Узбекский физический журнал, 2016. – Vol.18. – №.3. – С.214-218. (01.00.00; №5)
2. Зарипов А.А., Ашуров Х.Б. Феноменологический механизм воздействия кавитации на прошивку стекла. // Электронная обработка материалов, 2014. – №2. – С. 105-107. (01.01.01; №6)
3. Зарипов А.А., Ашуров Х.Б. Обработка диэлектрика с помощью электроэрозии. // Узбекский физический журнал, 2013. – № 1-2. – С. 90-96. (01.00.00; №5)
4. Зарипов А.А., Ашуров Х.Б. Экспериментальное изучение и модельное описание ИКР вблизи твердого тела помещенный в сильный электролит // Доклады Академии наук, 2013. – №1. – С. 26-30. (01.00.00; №7)
5. A. A. Zaripov, Kh. B. Ashurov. Electrical Discharge Machining of Nonconductive Materials. // Surface Engineering and Applied Electrochemistry, 2011, Vol. 47, No. 3, pp. 197–200 (Scopus, IF = 0.45)
6. Abdulkarimov E.T., Mirkarimov A.Sh., Zaripov A.A. Electroerosion treatment of dielectric materials. // Surface Engineering and Applied Electrochemistry, 2007. -Vol.43. № 2. –P.77-82. (Scopus, IF = 0.45)
7. Абдукаримов Э.Т., Миркаримов А.М., Зарипов А.А. Исследование электрического разряда в водном растворе электролита // Узбекский физический журнал, 2003. – № 1. – С. 52-57. (01.00.00; №5).

II бўлим (II часть; Part II)

8. Ашуров Х.Б., Зарипов А.А. Электроимпульсная обработка диэлектриков. III-Международная научно-практическая конференция «Современные материалы, техника и технологии в машиностроении» - Андижон, 2016. - С.182-184
9. Ашуров Х.Б., Зарипов А.А. Роль кавитационного механизма при автоматизации процесса электроэрозии диэлектриков IPES-6. 6-Международная конференция по физической электронике. – Ташкент, 2013. - С. 3-11.
10. Ашуров Х.Б., Зарипов А.А. Влияние длительности импульса на дисперсность продуктов электрической эрозии. Международная конференция «Актуальные проблемы физической электроники». – Ташкент, 2010. - С.77.
11. Ашуров Х.Б., Зарипов А.А. О возможности обеспечения однородности диспергированных частиц при электроэрозии Международная конференция «Актуальные проблемы физической электроники». - Ташкент, 2010. - С.88-89.
12. Ашуров Х.Б., Зарипов А.А. Обработка диэлектрика с помощью электроэрозии. Международная конференция «Актуальные проблемы

физической электроники». Материалы и тезисы докладов - Ташкент, 2010. - С.82.

13. Зарипов А.А., Кучканов Ш.К. Разработка и совершенствование технологических приемов выполнения отверстий и замкнутых полостей в диэлектрических и полупроводниковых материалах электроэрозионным методом. Международная конференция «Актуальные проблемы физической электроники». - Ташкент, 2010. - С.78-79.

14. Abdugarimov E.T., Mirkarimov A.Sh., Zaripov A.A. Combination of electrochemical and electroerosion for machining of non– conventional materials The 8 th IUMRS International Conference on Advanced Materials. Innovative materials. –Yokohama. 2003. - P. 42

15. Abdugarimov E.T., Mirkarimov A.Sh., Zaripov A.A. Electroerosion methods for machining of dielectrically materials. International Conference on Advanced Materials. Processing by controlling chemical reaction fields. – Dehli, 2003. - P.47

16. Пожаров С.Л. Миркаримов А.М., Зарипов А.А. Влияние некоторых веществ на взаимодействие вакуумного дугового разряда с поверхностью. Международная конференция по вакуумной обработке. – Санкт-Петербург, 2003 С.13

17. Абдукаримов Э.Т., Миркаримов А.М., Зарипов А.А. Размерная обработка нетрадиционных материалов с помощью электроэрозии. Uz.PEC–3. 3-Республиканская конференция по физической электронике. Материалы и тезисы докладов. – Ташкент, Шахрисабз, 2002. - С.46.

18. Абдукаримов Э.Т., Рахматуллаев М., Зарипов А.А. Модификация поверхности различных материалов при комбинированной электроэрозионной и электрохимической обработке // Uz.PEC– 2. 2– Республиканская конференция по физической электронике. – Ташкент, 1999. - С.161.

Автореферат «Til va adabiyot ta'limi» журналі тахририятида тахрирдан
ўтказилди (12.11.2019 йил).

Босишга рухсат этилди: 16.11.2019 йил.
Бичими 60x84 ¹/₁₆, «Times New Roman»
гарнитурда рақамли босма усулида босилди.
Шартли босма табағи 2,4. Адади: 100. Буюртма: № _____.

Ўзбекистон Республикаси ИИВ Академияси,
100197, Тошкент, Интизор кўчаси, 68.

«АКАДЕМИЯ НОШИРЛИК МАРКАЗИ»
Давлат унитар корхонасида чоп этилди.