

# Усан доторхи плазмт ниргэлэг

## Ш.Мөнхжаргал\*

*Физикийн тэнхим, Байгалийн Ухааны Салбар, Шинжлэх Ухааны Сургууль, Монгол Улсын Их Сургууль*

Усан доторхи плазмт нуман, очит болон усны дуслын гадаргуу дээрх титэмт саадын ниргэлэгийн судалгааны зарим үр дүнг танилцуулж байна.

Түлхүүр үгс: Усан доторхи плазмт ниргэлэг, усны дуслын гадаргуу дээрх титэмт ниргэлэг, усан доторхи нанобүтцийн синтез, усыг плазмт ниргэлгээр цэвэрлэх, халдваргүйжүүлэх арга, химийн хүчтэй исэлдүүлэгч

### ОРШИЛ

Сүүлийн 20 гаруй жилд плазм ба усны харилцан үйлчлэлийн судалгаа эрчимтэй хөгжиж байгаа билээ. Тухайлбал, усан доторхи плазмт ниргэлгийг нано материал синтезлэх, ус цэвэрлэх, ариутгах туршилт судалгаанд эрчимтэй ашиглаж байна.

Хүн амын төвлөрсөн суурьшил хотжилтын нөхцөлд ахуйн ба үйлдвэрлэлийн хаягдал усыг цэвэрлэх, ариутгах, халдваргүйжүүлэх, улмаар энерги-мэдээллийн түвшинд боловсруулахад орчин үеийн технологийн туршилт судалгааны үр дүнг ашиглах, хөгжүүлэх хэрэгцээ шаардлага нэмэгдсээр байна.

Манайд энэ чиглэлийн зарим нэг туршилт судалгааны ажил бакалавр, магистрантын түвшинд хийгдэж эхэлж байлаа. Үүнд, усан доторхи нуман ниргэлэг дэх катодын депозитийн судалгаа, усан доторхи очит ниргэлэг, плазмт ниргэлгээр үйлчилсэн усан уусмалын нил улаан туяа ба хэт ягаан туяаны спектр, мөн уусмал дахь жижиг хэсгийн нанохэмжээ, ус ба уугих ниргэлгийн харилцан үйлчлэлээр үүсэх цацаргалтын параметрыг тодорхойлох зэрэг судалгааны сэдэв чиглэлээр бакалавр, магистрант оюутнууд ажилласан билээ.

Энэ чиглэлийн судалгааны практик ач холбогдлыг үндэслэн, судалгааг үргэлжлүүлэх зорилгоор өмнөх ажлуудыг тоймлон танилцуулж байна.

### ТАНИЛЦУУЛГА

#### *Плазмт ниргэлэг*

Сүүлийн үед хийн ниргэлгийг өргөн утгаар нь хий дундуур дамжих гүйдэл төдийгүй цахилгаан орны нөлөөгөөр үүсэх хийн иончлолыг хамтад нь плазмын буюу плазмт ниргэлэг гэж нэрлэх болжээ. Усан дотор ба түүний гадаргуу дээр нам температурын тэнцвэрт бус плазмт ниргэлгийг экологи, анагаах ухаан, технологийн олон салбарт ашиглах боломж бүрдэж байна. Дулааны тэнцвэрт плазмд электроны температур нь хийн температураас их болоход плазм тэнцвэрт бус төлөвт шилжинэ. Нам температурын тэнцвэрт бус плазмыг хүчдлийн импульсийн ниргэлгээр үүсгэнэ. Хүчдлийн импульсийн үргэлжлэх хугацааг микросекундээс наносекундын хооронд үргэлжлэх боломжтой[1]. Хүчдлийн импульсээр үүсэх ниргэлэг нь энергийн бага хэрэглээтэй, өндөр урвалт плазмыг үүсгэдгээрээ давуу талтай юм. Энэ энерги нь үндсэндээ хийг халаах ба радикал, ион, өдөөгдсөн бөөмийг бий болгох плазмохимийн урвалд зарцуулагдах тул энергийн зарцуулалтын хувьд ашигтай болж байна [2]. Плазмт ниргэлгээр үүсэх электроны гүйдлийн нягт, нэвт цохиолтын хүчдэл, цахилгаан орны үйлчлэлээр явагдах иончлолын зэрэг ба плазмохимийн урвалын бүтээгдэхүүнүүд нь усан ба хийн орчинд ялгаатай байна.

#### *Усан доторхи плазмт ниргэлэг*

Нуман, очит, титэмт зэрэг плазмт ниргэлгийг усан орчинд асаах хүчдэл нь харилцан адилгүй байна. Нуман ниргэлэг гүйдлийн хүч их (10-100А) үед катодоос дулааны электроны эмиссийн гүйдлээр; очит ниргэлгийг мөн

\* Electronic address: munkhjarгал@num.edu.mn

агаарын даралтанд өндөр хүчдэлээр; уугих ниргэлэг бага даралтанд, өндөр хүчдэлээр; титэмт нь агаарын даралтанд хүчтэй нэгэн төрөл бус цахилгаан орноор үүсдэг. Энэ чиглэлийн туршилт судалгааны олон ажлууд гарсаар байна[3]. Усан доторхи ниргэлгээр плазмын хийн суваг үүсдэг. Хийн сувгийн температур ойролцоогоор 1000-3000K, электроны температур 1эВ орчим байна[3]. Өндөр хүчдэлээр үүсэх ниргэлгийн хувьд усан дотор хийн суваг маш хурдан усан орчин руу тархаж, хийн цэврүү үүсгэнэ. Өндөр гүйдлийн нягттай суваг харьцангуй бага температуртай (2000K) плазмын цэврүүгээр хязгаарлагдана. Цэврүүний цахилгаан дамжуулал электрон, ионуудаар тодорхойлогдох ба цэврүү томорход сувгийн температур буурч, цэнэгийн нягт, гүйдлийн утга буурна. Тухайн цэг дээр гүйдлийн утга ялимгүй нэмэгдэхэд Жоулын дулаан, температур өсч эхэлнэ. Температур хэдэн мянган градус (K) хүрэхэд усанд плазмын нарийхан суваг бий болно. Дамжууллын сувагт ялгарсан орчны температур дулаан дамжууллаар тарж чаддаггүй бөгөөд ниргэлгийн үед түүнээс хол орших усны эзлэхүүний дулаан дамжуулал бараг тогтмол байдаг. Электрод хоорондын Жоулын дулааны босго энергийн утгаас ихэсвэл тогтворгүйжилт болж, дулааны үзэгдлээр нэвт цохилт үүснэ[4]. Импульсийн нэвт цохилтын параметруудийг эсэргүүцэл ихтэй нэрсэн ба крантны усанд тодорхойлсон байна[5]. Усны эсэргүүцэл буурахад асаах хүчдэл ба нэвт цохилтын хүчдлийн хоорондох зөрүү титэмт ниргэлгийн хувьд нэмэгдэж байжээ[6].

Усан доторхи плазмет ниргэлгээр үүсдэг иончлол, молекулын задрал, цахилгаан соронзон долгионы цацаргалт, цохих долгион, кавитаци, соронзон орон зэрэг нийлмэл үзэгдлийг сүүлийн үед эрчимтэй сонирхон судлах болов[7]. Ниргэлгийн процесст хүчтэй цахилгаан орон дахь цэнэгт бөөмс үүсэх ба хөдлөх нь дулааны энергийг эрчимтэй ялгаруулснаар усыг хэт критик төлөвт оруулж, өндөр даралт, температуртай хийн цэврүүг агшин зуур бий болно. Улмаар цохих долгион (түүний фронтод даралт 12МПа орчим байна[8]) үүсч тархан, хийн суваг үүсч, температур ба даралт буурна[2].

#### **Усны дээжийн тухайд**

Ус, усан уусмал дотор нуман, титэмт, очит, саадын г.м плазмет ниргэлгийг харилцан адилгүй хүчдлээр үүсгэдэг. Энэ нь ус, усан уусмалын ионы найрлага, түүний цахилгаан дамжуулалтай холбоотой. Усны хувьд нэрмэл, дахин нэрсэн, ионгүйжүүлсэн, цэвэр, эрдэс багатай байгалийн ус, төвлөрсөн хангамжийн крантны ус гэсэн ойлголтууд хамаатай бөгөөд цахилгаан дамжуулал харьцангуй багатай, диэлектрик бодис болно. Усан уусмал нь уусгагч ус ба гидрофиль чанартай нэг ба хэдэн бодисын ион буюу молекулыг агуулна. Жишээ нь, сул электролит уусмалд органик хүчил ба суурь ( $\text{CH}_3\text{COOH}$ ,  $\text{CH}_3\text{COONa}$ ...), хүчтэй хүчлийн давс ( $\text{NaHCO}_3$ ,  $\text{NaHSO}_4$ ...), сул шүлт ( $\text{NH}_4\text{OH}$ ,  $\text{Fe}(\text{OH})_2$ ...) хүчтэй шүлт ( $\text{KOH}$ ,  $\text{NaOH}$ ...), сул хүчил ( $\text{H}_2\text{CO}_3$ ,  $\text{H}_2\text{SO}_3$  ...) нь усанд хялбар уусч, электролит уусмал үүсгэнэ[9]. Рашааны хувьд нийлмэл усан уусмал бөгөөд түүнд ион, уусаагүй молекул, хий, коллоид хэсэгтэй ба цахилгаан дамжуулал харьцангуй өндөр тул усан уусмал гэх үндэстэй. Хаягдал усны хувьд ахуйн ба үйлдвэрлэлийн гэсэн ангилалтай байдаг. Ахуйн бохир усанд агуулагдах химийн нэгдлүүд гадаргуугийн идэвхит нийлэг бодис, аммони ( $\text{NH}_3$ ), метан ( $\text{CH}_4$ ), цууны хүчил ( $\text{CH}_3\text{CO}_2\text{H}$ ), силикон диоксид ( $\text{SiO}_2$ ) этонал ( $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ ) зэрэг голлодог[19]. Үйлдвэрлэлийн хаягдал ус технологийн процессоос хамаараад харилцан адилгүй найрлага байх ч энэ хоёр ангиллын усанд уусаагүй жижиг хэсгүүд ч байдаг. Энд авч үзэж буй ажлуудад нэрсэн, крантны, машин угаалгын хаягдал усны ба рашааны дээжийг ус гэсэн ерөнхий нэрэнд хамааруулав.

#### **Плазмет ниргэлгээр усан дотор үүсэх химийн идэвхит исэлдүүлэгчид**

Усан доторхи плазмет ниргэлгийн нэвт цохилтоор катодоос гарах электроны урсгал ус, уусмалын атом, молекул, ионтой харилцан үйлчилж, иончлох процессоор өндөр исэлдүүлэгч чанартай устөрөгчийн хэт исэл ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ), атом хүчилтөгрөгч ( $\text{O}^*$ ), гидроксильн радикал ( $\text{OH}$ ), гидропероксидийн радикал ( $\text{HO}_2^*$ ), озон ( $\text{O}_3$ ) г.м үүснэ. Плазмын ниргэлэгийн үед Н ба ОН-ийн нягт  $8.5 \times 10^{24} \text{ м}^{-3}$  болохыг тогтоожээ[3]. Эдгээр радикал, атом нь химийн хүчтэй исэлдүүлэгч болж, ихэнх нэгдлүүдтэй урвалд идэвхитэй ордог. ОН

радикал нь химийн өндөр идэвхтэй тул гадаргуугийн идэвхит бодис адил фенол, диоксиныг нүүрсхүчлийн хий, усны молекул ба бусад органик бус нэгдлүүдэд задална. Харин хүнд металлууд үл уусах нэгдлийн хэлбэрээр тунадасжина. ОН радикалын цацаргалтын эрчим нь ниргэлгийн энергитэй шууд хамааралтай ба усан уусмалд ОН радикал ойролцоогоор 1мс хугацаанд тогтвортой байна[10]. Усан доторхи ба түүний дуслын гадаргуу дээрх титэмт ба уугих ниргэлгийн үед ОН радикалын агуулга харьцангуй их бүртгэгдсэн байна[3]. Усан дотор плазмит ниргэлгээр үүсэх радикалуудын хоорондын үйлчлэл ба хэт ягаан, үзэгдэх гэрлийн импульсийн цацаргалтаар  $H_2O_2$  үүснэ[11].

#### **Плазмит ниргэлгээр органик бодисыг задлах**

Ахуйн ба үйлдвэрлэлийн хаягдал усны органик уусгагч нь септик цэвэрлэгээний явцад задарч зайлуулагдах боломжгүй тул гадаргын усыг фосфор органик нэгдлээр бохирдуулах, ихэнх тохиолдолд хаягдал шингэн хөрсөнд орох тохиолдолд хөрс ба түүний доорхи усыг бохирдуулдаг. Ахуйн хаягдал усанд анионт гадаргуугийн идэвхит бодис сульфанола агуулагдана. Усан доторхи плазмит ниргэлгээр сульфанолын молекул дахь С-Н радикал, молекулын үнэрт хэсгийн диссоциаци болно. Энд ионуудын кинетик энерги 100 эв орчим тул түүний альфатик ба үнэрт хэсгийн холбоосыг эвдэж чадна. Мөн ниргэлгээр үүсэх хэт ягаан туяаны цацаргалтаар альфатик хэсэг фотолизэд орж, түүний задралыг нэмэгдүүлэх боломжтой. Усыг бохирдуулагч төрөл бүрийн органик бодисын бүрэн задрал нь плазмит ниргэлгийн энергийн хэмжээнээс хамаарахыг судалжээ[12].

#### **Плазмит ниргэлгээр усыг халдваргүйжүүлэх**

Плазмит ниргэлгээр усыг халдваргүйжүүлэхэд нөлөөлөх гол хүчин зүйл нь химийн идэвхит исэлдүүлэгчид ба цохих долгион болдог байна. Нам температурын плазмит ниргэлгээр усанд үүсэх химийн идэвхитэй исэлдүүлэгчид микроорганизмын солилцооны макромолекулуудтай урвалд орж, эсийн дотор нэвтрэнэ. Энд уураг ба амин хүчлийн исэлдэлт, нуклины хүчлийн дахин туйлшрал, бусад биологийн идэвхит бодисын задрал явагдана[13]. Усан доторхи импульсийн хүчтэй ниргэлгийн үед цохих долгион нь ниргэлгийн

тэнхлэгээс 3-5 мм зайд (энергийн ялгаралтын нягт ойролцоогоор 3 Кдж/см<sup>2</sup>) үүсч явагдана. Даралтын уналт 50 МПа-аас их болоход цохих долгион микроорганизмыг механикаар бутлах үйлчлэл үзүүлэхийг тооцоолсон байна[14].

#### **Усан доторхи плазмит ниргэлгээр нанобүтцэт материал гаргах**

Усан доторхи графит электродууд бүхий плазмит ниргэлгийг материалын синтез ба физик-химийн судалгаанд өргөн хэрэглэж байна. Усан доторхи нуман ниргэлгээр нано графитын чанар гүйдлийн хүчнээс (Sano2001), (Hsin2001); нанобөөмийн гарц катализаторын тусламжтайгаар нэмэгдэхийг (Zhu2002); мөн электродын геометрээс (Li2002); нумын гүйдэл ихэсэхэд аморф нүүрстөрөгчийн хэмжээ нэмэгдэж, нано бөөмийн гарц электродын цэвэр эсэхээс хамаардаг болохыг (Bera2006, 2003) тус тус судлан тогтоосон байна[6]. Тухайлбал, сонгинолог хэлбэрийн нанобүтцэт нүүрстөрөгчийг полимер, тослох материал, электроны эммитерийн дамжууллыг нэмэгдүүлэх, ялангуяа өндөр чадлын микросуперконденсаторын электродын материал болгон ашигладаг байна[15]. Түүнчлэн, усан доторхи плазмит ниргэлэгт металл болон шингэн анод ба катод электродыг ашиглах болсон. Усан доторхи плазмит ниргэлгийг ашиглан наноматериалыг синтезлэхэд нэмэлт ангижруулагч шаардлагагүй, туршилтын төхөөрөмж хялбар, плазмын цацаргалт дундуур синтез тасралтгүй явагдах давуу талтай[16].

#### **УСАН ДОТОРХИ ПЛАЗМИТ НИРГЭЛЭГ: МАТЕРИАЛЫН НАНОБҮТЭЦ БА УСЫГ ЦЭВЭРЛЭХ, ХАЛДВАРГҮЙЖҮҮЛЭХ**

Усан доторхи нуман ниргэлгийг нано материалын синтез болон ус, уусмалыг органик бодис, хүнд металл, бактерээс цэвэрлэхэд ашигладаг[7]. PGS-2 спектрографын цахилгаан генераторын нуман ниргэлгийн горимоор, графит электрод ашиглан усанд ниргэлэг явуулсан. Нэрсэн усан доторхи ниргэлгийн нумын гүйдэл 30-110А; катодын депозит үүсэх хурд 0.03-0.33 г/мин; анодын уурших хурд 0.26-1.64 г/мин; усны температур 45<sup>0</sup>С-21<sup>0</sup>С; ниргэлгийн хугацаа 5-1 мин байх үед ниргэлэг тогтворжиж, графитан катодын гадаргуу дээр

нүүрстөрөгчийн сонгинолог хэлбэрийн нано бүтэц үүсч байгааг илрүүлжээ[4]. Нүүрстөрөгчийн сонгинолог бүтцийг анх 1980 онд нээсэн бөгөөд энэ нь 10нм диаметртэй, нүүрстөрөгчийн атомын  $sp^2$  гибрид атомуудаас тогтох бөөм юм[17]. Мөн Sato нар ионгүйжүүлсэн усанд (нэрсэн усыг бодвол хувийн эсэргүүцэл ихтэй) графит электродуудын хоорондох нуман ниргэлгээр нүүрстөрөгчийн сонгинолог бүтцийн гарц 3мг/мин болж байгааг туршжээ[18]. Үүнээс үзэхэд нүүрстөрөгчийн нанобүтцийг усан доторхи плазмт ниргэлгийн аргаар явуулахад усны хувийн эсэргүүцэл нөлөөтэй байна. Усан дотор графит электродоос гадна металл электродыг ашиглан, нано материалын синтезийг явуулдаг. Дээрх тэжээлийн үүсгүүрийг ашиглан 400мл-ийн хэмжээтэй шилэн саванд ус, усан уусмалын дээжинд нуман ниргэлгэийг 40В хүчдэл, 6А гүйдлийн утганд 90сек-ээс 1 мин 30сек-ийн хугацаанд явуулсан байна. Электродыг графит, зэс, титанаар хийж, ниргэлгэийн явцад электрод хоорондын зай 1мм байхаар автомат удирдлагаар тохируулсан.

Плазмт ниргэлгээр үйлчилсэн усны дээж дэх жижиг хэсгийн хэмжээг Nanophox (*ШУТИС-ийн Материал судлалын лабораторид*) багажаар тодорхойлов. Туршилтаар зэс ба графит электродынхтой харьцуулбал титан электродын хувьд усанд үүссэн жижиг хэсгийн хэмжээ харьцангуй олон бөгөөд том байгаа нь ажиглагджээ[19]. Титан электродтой ниргэлгээр үйлчилсэн нэрмэл усан дахь жижиг хэсгийн хэмжээ 212.0 нм, крантны усных 1489.6 нм, ахуйн бохир усны хувьд 407.5нм хэмжээс бүхий жижиг хэсгүүд голлож, титан электродтой ниргэлгээр уусмал доторхи жижиг хэсгийг х400 өсгөлттэй микроскопиор харахад жижиг хэсгийн тоо олон, хэмжээ харьцангуй том байсан нь [19] титаны нэгдэл бүхий аэрогель үүссэнийг үзүүлж байна. Энэ нь шингэн орчинд металл электрод ашиглан ниргэлгэийг явуулахад түүн дээр тухайн металл исэлдэж [20], титан электрод катализатор болсоноор аэрогель үүсэхэд нөлөөлжээ. Тухайлбал  $H_2[TiO(C_2O_4)_2]$ ,  $TiO_2 \cdot nH_2O$  г.м нэгдлүүд үүсдэг [21] байна. Крантны усан дахь жижиг хэсгүүдийн хэмжээ харьцангуй том байгаа нь усны төвлөрсөн хангамжийн

системийн зарим шугамын хоолой дахь төмрийн зэвтэй холбоотой байх талтай.

Ахуйн хаягдал ус нь бичил биетэн, умбуур бодис, ууссан хүчилтөрөгчийн хэмжээ багассан, органик нэгдлүүд, уургийн нэгдлийн бохирдолтой байдаг[19]. Ахуйн хаягдал усны дээжинд очит ниргэлгийн гүйдлийн утга 1-2 А, хүчдлийн утга 600В, ниргэлэг үргэлжилсэн хугацаа 20-30 минут; нуман ниргэлгийн гүйдлийн утга 6-8А, хүчдэлийн утга 50В, хугацаа 2 минутын байхаар автомат удирдлагын тусламжтайгаар явуулсан[19]. PGS-2 спектрографын тэжээлийн нуман ниргэлгийн горимоор ахуйн хаягдал усны дээжинд явуулсан туршилтаар титан электродтой, зэс электрод баригчтай(усан дотор дүрэгдсэн) үед нийт нянгийн тоо 86,47%, титан электрод ба титан баригчтай тохиолдолд 95.22%-иар буурсан байна[19]. Титаны исэл нь өргөн бүсийн хагас дамжуулагч тул усан доторхи плазмт ниргэлгээр хэт ягаан туяаны өдөөлтөөр электрон-нүхний хос үүснэ. Нүх ба ионы харилцан үйлчлэлээр ОН радикал үүсэх урвал явагдана. Мөн озон үүсэх урвалд оролцох тул [12] титан электродын хувьд химийн идэвхит исэлдүүлэгчдийн хувь хэмжээ харьцангуй илүү байх үндэслэлтэй юм.

Очит ниргэлгээр үйлчилсэн ахуйн бохир усны дээжийн нил улаан туяаны шингээлтийн спектрт  $2931.80\text{cm}^{-1}$  ба  $2854.65\text{cm}^{-1}$  эрчимтэй шугамууд нэмэгдэж гарсан нь альфатик нүүрс-устөрөгчийн С-Н бүлгийн валентын хэлбэлзэл байдаг[12]. Молекулын шингээлтээр  $1463\text{cm}^{-1}$  шугам илэрсэн нь мөн альфатик хэсэг дэх үнэрт нэгдлийн бүтцийн С-Н бүлгийн деформацийг,  $1165\text{cm}^{-1}$ ,  $1097\text{cm}^{-1}$ ,  $1035.77\text{cm}^{-1}$  шугамууд нь сульфон ба сульфанилын хүчил,  $1743.65\text{cm}^{-1}$  С-Н ийн үнэрт нэгдэл байгааг үзүүлж байна. Иймд цаашид туршилтыг ниргэлгийн хүчдэл, плазмын энерги, ниргэлгийн үргэлжлэх хугацаанаас хамааруулан судлах хэрэгтэй юм.

Нэрсэн, цасны, голын, крантны, ахуйн ба машин угаасан хаягдал усны дээж дотор нуман ба очит ниргэлэг явуулахад[19, 23] рН-ийн утга багасах, цахилгаан дамжууллын утга нэмэгдэх хандлага ажиглагдаж байгаа нь судлаачдын дүгнэлттэй[22] тохирч байна. Машин угаасан хаягдал усны дээжинд очит ниргэлэг явуулж туршжээ[23]. Спектрографын очит ниргэлгийн горимийг ашиглан, титан электродоор оролтын

хүчдэл 600в, гүйдэл 10 А; ниргэлгийн үргэлжлэх хугацаа 10-20 минут; электрод хоорондын зай 2 мм байхаар автомат системээр[24] удирдаж байв. Машин угаасан усны найрлага дахь угаагч бодисууд ниргэлгийн нөхцөлд задарч, бактерийн хэмжээ буурч, ус тунгалаг болж байв[23]. *Peng Lu* нар усны гадаргыг очит ниргэлгээр үйлчлэхэд  $H_2O_2$  ба  $NO_3^-$ ; уугих ниргэлгээр үйлчлэхэд  $NO_2^-$  ба  $NO_3^-$  ион агуулагдаж, урвалын нийт бүтээгдэхүүний агуулга нь очит ниргэлгийн үед харьцангуй өндөр байжээ[25]. Энэ нь очит ниргэлгээр химийн идэвхит радикалууд илүү үүсдэгийг харуулж байна. Ингэж плазмит ниргэлгээр үйлчилсэн ус нь биологи ба биохимийн идэвх өндөр, хүчилтөрөгч ба азотыг хольц, ямар нэг химийн хольцоос ангид, орчинд сөрөг нөлөөгүй, экологид ээлтэй, оролтын энерги бага бөгөөд үр ашигтайгаас гадна хэт ягаан туяа, озон, электролизийн исэлдэлтээр усыг боловсруулан хөдөө аж ахуй, анагаах ухаан, хүнсний салбарт эрчимтэй ашиглах боломжийг өгч байна[26]. Тухайлбал, титэмт саадын ниргэлгийг анагаах ухааны салбарт эмчилгээний оношлогоонд хэрэглэж байна. Тухайлбал, хийн ниргэлгийн зургийн аргыг дурьдаж болно. Хийн ниргэлгийн зургийн арга нь хий дэх титэмт саадын ниргэлэг дээр үндэслэсэн[27]. Судлах объект ба электродын хооронд 5-30 кВ потенциалын ялгавартай хүчдлийн импульс өгөхөд титэмт ниргэлэг үүсч, фотоэлектроны эмиссийн үзэгдэл явагдана. Улмаар диэлектрик саадын гадаргуу дээр цахилгааны орны тусламжтайгаар электроны “нуранги” үүсч, хийн молекулын иончлолоор цацаргалт болно. Энэ фотоны цацаргалт нь судлах дээжийн мэдээллийг агуулах ба дээжийн бүтэц найрлагаас хамаараад цацаргалтын гэрэлтэлтийн эрчим, талбай зэрэг хэмжигдэхүүн харилцан адилгүй мэдээлэл өгдөг байна. Усны дээжийн хувьд дуслын гадаргуу ба металл электродын хоорондох титэмт ниргэлэгт дуслын хэмжээг адил болгоход цацаргалтын гэрэлтэлтийн талбай ба гадаргуугийн фотоны цацаргалтын хамаарлыг тооцоолжээ[28]. Нэрмэл ус, Сэлбэ голын усны дээж, савласан цэвэр ус, төвлөрсөн хангамжийн хлоржуулсан крантны ус, мөн дээжийг буцалгаж, савласан ‘Оргил’ рашаан болон зарим орон нутгийн рашааны дээжийг хийн ниргэлгийн зургийн

аргаар (GDV Scientific Laboratory программ) судлан боловсруулалт хийжээ. ‘Оргил’ савласан рашаан, Ховдын Нэвтийн, Увсын Хар Тэрмисийн рашааны дээжинд плазмит ниргэлгийн сувгийн гэрэлтэлтийн талбайн дундаж утга 3100-3989 нягтаршилттай бөгөөд дундаж утгын хэлбэлзэл харьцангуй их байв[29]. Плазм ба усны дуслын харилцан үйлчлэлээр усны ионы идэвхи, хөдөлгөөнт чанар, иончлол, диссоциацийн зэрэг нь плазмит ниргэлгийн цацаргалтын гэрэлтэлтийн талбайд нөлөөлж байна. Усны ионы хувьд *D.D.Hinde, D.Birtwistle* нар [30] усны дуслыг титэмт ниргэлгээр үйлчилсэн туршилтаар  $O^{+++}$  ионы өндөр идэвхжлийг тогтоосон нь цаашид энэ аргыг усны найрлага, бүтцийн судалгаанд ашиглах боломжтойг үзүүлж байна.

## ДҮГНЭЛТ

Нам температурын тэнцвэрт бус плазмын технологи, тухайлбал усан доторхи ба түүний гадаргуу дээрх плазмит ниргэлгийн арга нь наноматериал синтезлэх, усны экологи, технологийн асуудлыг шийдэхэд судалгааны ажлыг нарийвчлан явуулах нь чухал болж байна. Цаашид усан доторхи нуман ниргэлгийг нүүрстөрөгчийн катализын чиглэлд ашиглах, усан доторхи ба түүний гадаргуу дээрх плазмит ниргэлгийн цацаргалтыг атомын спектроскопийн аргаар судлах боломжтой юм. Мөн плазмит ниргэлгээр үйлчилсэн ахуйн ба үйлдвэрлэлийн хаягдал усны гадаргуугийн идэвхит нэгдлийн молекулын шингээлтийн спектрийг ниргэлгийн хүчдэл ба хугацаанаас хамааруулан судлана.

## АШИГЛАСАН МАТЕРИАЛ

- [1] Ушаков.В.Я, Импульсный электрический пробой жидкостей. Томск. Изд-во ТГУ. 1975.
- [2] Петров С.В., Ольховиков О.В, Энергосберегающие технологии. Энерготехнологии и ресурсосбережение. 2016.№2.
- [3] P.J.Bruggeman et.al, Plasma liquid interactions: a review and roadmap, Plasma Sources Science Technology. 25. 053003(2016)
- [4] Б.Бат-Эрдэнэ нар, Усан дахь нуман ниргэлгээр катодын депозит үүсэх нөхцөл

- ба түүний морфологи бүтцийн судалгаа. Физик. 2011.355(16)
- [5] Н.М. Jones, Е.Е. Kunhardt, The influence of Pressure and Conductivity on the Pulsed Breakdown of Water, IEEE Trans. DEL, Vol.1, No.6, pp.1016-1025. 1994
- [6] J. Nieto-Salazar, O. Lesaint, A. Dena, Transient current and light emission associated to the propagation of pre-breakdown phenomena in water, Proc. 2003 Annual Report Conference on Electrical Insulation and Dielectric Phenomena, pp.542-545. 2003
- [7] Peter Bruggeman, Plasmas in and in contact with liquids: a retrospective and an outlook, J. Phys. D: Appl. Phys. 45(2012) 253001
- [8] Нагдалян А.А, Исследование характеристик электроимпульсного разряда в водных растворах хлористого натрия. Научный журнал КубГАУ. №86 (02) 2013
- [9] Сваровская Н.А. Физическая химия растворов. М. 2013
- [10] Peyrous R, et al. Kinetic simulation of gaseous species created by electrical discharge in dry or humid oxygen, Journal of physics D: Applied Physics, 1989. 22. p.1658-1667
- [11] Андреев С.Н и др. Получение чистых растворов пероксида водорода при активации воды плазмой безэлектродного СВЧ-разряда и их применение для управления ростом растений. Доклады Академии Наук. 2019, Т.486. №3 с. 297-300
- [12] Бобкова Е.С, Научные основы низкотемпературных плазменных процессов разложения органических соединений растворенных в воде. Дисс. Иваново. 205
- [13] Колесников В.А и др. Исследование инактивации болезнетворных микроорганизмов в воде воздействием низкотемпературной плазмы. Гигиена и санитария. 2016. 95(6)
- [14] К.В. Вилков, Ю.А. Нагель. Обеззараживающее действие мощного импульсного электрического разряда в воде. Зарождение, эволюция и структура ударных волн. Письма в ЖТФ. 2004. том 30. вып.5
- [15] Савилов С.В, Физикохимические основы пиролитического синтеза и функционализации углеродных наноструктур, Дисс. М 2017
- [16] Fatemeh Rezaei et al. Applications of Plasma-Liquid Systems: A Review, Materials 2019. 12.2751
- [17] Iima S, Direct observation of the tetrahedral bonding in graphitized carbon black by high resolution electron microscopy, J. Cryst. Growth. 1980, V.50. p.675-683
- [18] Sato N, Wang H, Chhowalla M, Nature. 2001. V.414. p.506-507
- [19] Б.Гэрэлцэцэг, Ахуйн хаягдал усыг плазмт ниргэлэгээр боловсруулах боломж. Магистрийн дипломын ажил. УБ. 2012
- [20] Абрамов О.В, Плазменный разряд в кавитирующей жидкости. Инженерная физика. 2009. №8. 43-43
- [21] Коленько Ю.В, Синтез нанокристаллических материалов на основе диоксида титана с использованием гидротермальных и сверхкритических растворов. М 2004
- [22] N.A.H. Ramli, et al. Review on the development of plasma discharge in liquid solution, AIP Conference Proceedings 1824. 030015(2017)
- [23] Ц.Очирхүү, Усан доторхи очит ниргэлэг. Бакалаврын дипломын ажил. УБ. 2012
- [24] Л.Цэлмэг, Усан доторхи плазмт ниргэлэгийн автомат удирдлагын систем. Бакалаврын курсын ажил. УБ. 2012
- [25] Anne Mai-Prochnow et al., Interactions of plasma-activated water with biofilms of action. Biofilms and Microbiomes (2021) 11
- [26] Renwu Zhou et al. Journal of Physics D: Applied Physics. 53(30). 3(2020)
- [27] Новицкий И.О, Шилин Л.Ю, Метод биоэлектрографии на современном этапе. Беларусь. Онлайн
- [28] Коротков К.Г, Виллиамс Б, Виснески Л.А, Биофизические механизмы метода ГРВ биоэлектрографии. Санкт-Петербург. 1998
- [29] О.Гэрэлмаа, Усны судалгаанд хийн ниргэлэгийн зургийн аргыг ашиглах. Бакалаврын дипломын ажил. УБ. 2012
- [30] D.D. Hinde, D. Birtwistle, Water drop to metal and water drop corona discharge.