

## Усан дахь нуман ниргэлэгээр катодын депозит үүсэх нөхцөл ба түүний морфологи бүтцийн судалгаа

Б.Бат-Эрдэнэ\*, Ш.Мөнхжаргал\*\*

Физикийн Онол Туршлагын Тэнхим, Физик-Электроникийн сургууль, МУИС

Э-Мэйл: [baterdene@num.edu.mn](mailto:baterdene@num.edu.mn)\*, [munkhjargal@num.edu.mn](mailto:munkhjargal@num.edu.mn)\*\*

Энэхүү ажлаар усан доторхи нуман ниргэлэгээр катодын депозит үүсэх нөхцлийг усны температур болон ниргэлгийн гүйдлийн утгаас хамааруулан судлав. Усны температур нь нуман ниргэлгийн горим болон катодын депозит үүсэх нөхцөлд шууд нөлөөлж байгааг туршлагаар ажиглалаа. Ниргэлэг явуулах орчин-ус ба электрод-катодын хоорондох дулаан солилцоо, нумын радиусын дагуу үүсэх температурын градиент нь катодын депозитийн бүтцэд нөлөөлж байна.

### I. УДИРТГАЛ

Судлаачид анх 1991 онд нүүрстөрөгчийн нанохоолойг илрүүлснээс хойш нүүрстөрөгчийн нанобүтцэт материалыг гарган авахад янз бүрийн орчин дахь нуман ниргэлгийг ашиглах боловч [1,2]. Нуман ниргэлэгээр катодын гадаргуу дээр үүсэх нүүрстөрөгчийн тунадас буюу депозит нь нанобүтцийг агуулдаг [3].

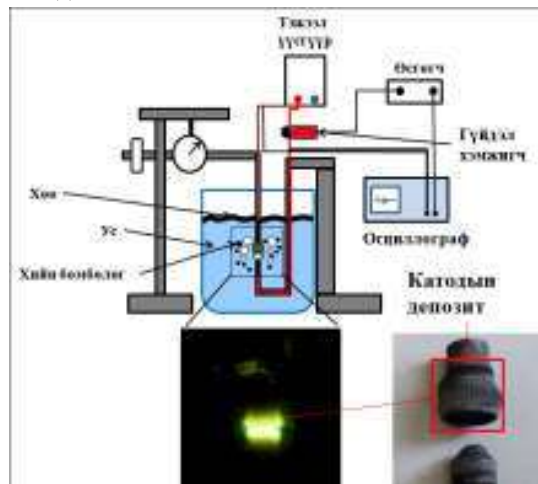
Сүүлийн жилүүдэд усан доторхи нуман ниргэлэг (УДНН), түүнд үүссэн катодын депозит судлаачдын анхаарлыг татах боллоо [4, 5]. УДНН арга нь вакуумын төхөөрөмж шаардлагагүй, зардал бага, электрод солиход хялбар зэрэг давуу талуудтай боловч, нуман ниргэлгийг тогтвортой асаахад нарийн тохиргоо шаарддаг ба онолын судалгаа бүрэн хийгдээгүй талтай [6].

УДНН-т үүссэн катодын депозитод нанохоолой их хэмжээгээр агуулагддаг [7,8]. *Yao* нар катодын депозит үүсэх нөхцөл ба түүний морфологи бүтцийг нуман ниргэлгийн чадлаас хамааруулан судалсан байдаг [9]. *Yao* нарын судалгаагаар УДНН-т катодын депозит ниргэлгийн чадлаас шууд хамаардаггүй, зөвхөн нуман ниргэлэг тогтвортой асах үед үүсдэгийг тогтоосон бөгөөд *Hsin, Zhu* нар туршилтаар баталсан [7,8]. УДНН-ийг удаан хугацааны туршид үргэлжлүүлэхэд нуман тогтворших хандлагатай байгааг *Sano, Guoa* нар ажиглажээ [4,10]. Эдгээр судалгааны үр дүн, ажиглалт нь бидэнд нуман ниргэлгийн тогтворжилтод усны температур нөлөөлнө гэсэн таамаглал дэвшүүлэхэд хүргэсэн болно.

Иймд энэ ажлаар катодын депозитийн морфологи бүтэц, түүний үүсэх нөхцлийг усан орчны температур болон ниргэлгийн гүйдлээс хамааруулан судлах зорилго тавилаа.

### II. ТУРШИЛТ

Туршилтын төхөөрөмжийн дэлгэрэнгүй тайлбар, зургийг [11] ажилд тайлбарласан ба багажийн бүдүүвчийг 1-р зурагт үзүүлэв. Туршилтанд 99% цэвэршилтэй, 6 мм диаметртэй графитан электродуудыг анод, катод болгон ашигласан.



1-р зураг . Усан дотор нуман ниргэлэг явуулах төхөөрөмжийн бүдүүвч, ниргэлэг, ниргэлэгээр үүссэн катодын депозитийн дижитал зураг

Электродуудыг босоо тэнхлэгийн дагуу шилжих боломжтой электрод баригчид бэхлэж, устай шилэн саванд 8 см гүнд байрлуулсан. Туршилтаар 4 л эзэлхүүн бүхий шил саванд, 80 мкСм дамжуулалтай төвлөрсөн хангамжийн усны дээж авч ниргэлэг явуулсан. Нуман ниргэлгийн тэжээл үүсгүүрээр JASIC ARC-200

маркийн гагнуурын аппаратыг ашигласан. Усан доторхи нуман ниргэлийг электродуудыг хооронд нь нийлүүлэх аргаар асааж, хоорондын зайг ойролцоогоор 1 мм зайтай барьж байв.

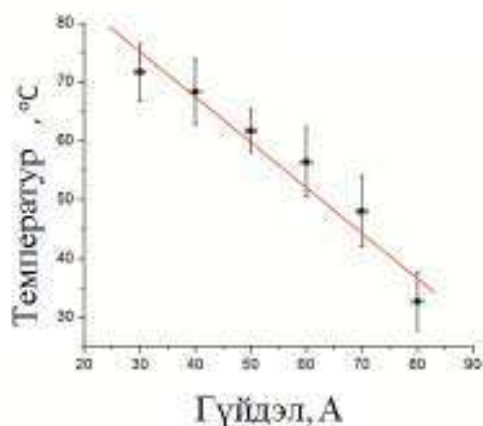
Катодын гадаргуу дээр депозит үүсэх нөхцлийг усны температур ба ниргэлгийн гүйдлээс хамааруулан тогтоох зорилгоор нийт 18 удаагийн туршилт явуулав. Ниргэлэг бүрийг  $10^{\circ}\text{C}$  температуртай усанд эхлүүлж, ниргэлгийн гүйдлийн утгыг 30A - 80A хооронд өөрчлөв. Усны температурыг MT-401C маркийн дижитал термометрээр хэмжив.

Ниргэлгийн дүнд катодын гадаргуу дээр үүссэн депозитийг 48 цагийн турш тасалгааны температурт хатааж CARL ZEISS- DSM маркийн электрон микроскопи, MAXima-X XRD-7000 маркийн рентген дифрактометрээр шинжлэв.

### III. ҮР ДҮН БА ХЭЛЭЛЦҮҮЛЭГ

#### A. Катодын депозит үүсэх нөхцөл

Ниргэлгийн явцад усны температурын тодорхой нэг утганд нуман ниргэлэг тогтворжиж, катодын гадаргуу дээр депозит үүсэж байв. Энэхүү нумын горимийн өөрчлөлт болох усны температур ба ниргэлгийн гүйдлийн утгыг 1-р графикт үзүүлэв.



1-р график. Катодын депозит үүсэх усны температур болон гүйдлийн утга.

Хэмжилтийн үр дүнгийн шугаман регрессийн муруй ниргэлгийн гүйдэл ойролцоогоор 90A-аас их үед усны температурын утгаас үл хамааран нум тогтвортой асаж катодын

гадаргуу дээр депозит үүсэхийг харуулж байна. Нуман ниргэлгийн горимийн өөрчлөлтөөр тодорхойлогдож буй катодын депозитийн үүсэх нөхцөл катодын температур, катод дээрх электрон сугарах механизмтай холбоотой байж болох юм. Учир нь нуман ниргэлэг тогтвортой асах гол нөхцөл катодын гадаргуугийн температур хангалттай өндөр, өөрөөр хэлбэл катод дулааны үйлчлэлээр электрон цацруулах чадвартай байх явдал юм [12]. Усны температур бага үед катод ба усан орчны дулаан солилцоо их, катод түргэн хугацаанд хөрж гадаргуугийн температур бага байна. Энэ нь катодын гадаргаас орны үйлчлэлээр электрон сугарч нум тогтворгүй асахад хүргэнэ [13]. Ниргэлгийн явцад усны температурын тодорхой нэг утгад катод ба усан орчны дулаан солилцоо багасч катодын температур ихсэж улмаар нум тогтвортой асах, катодын депозит үүсэх нөхцөл бүрдэж байгаагаар тайлбарлаж болох юм.

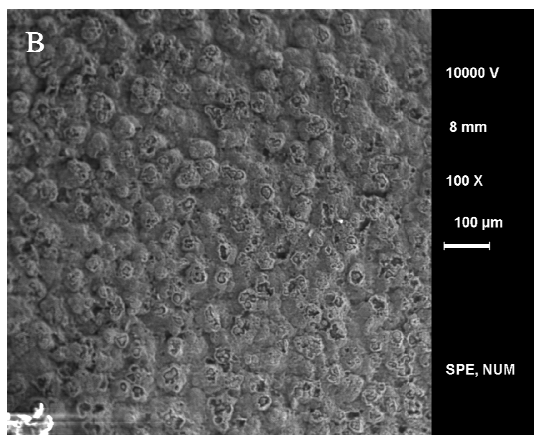
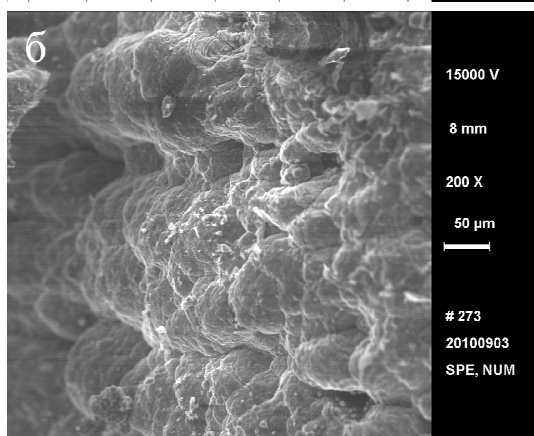
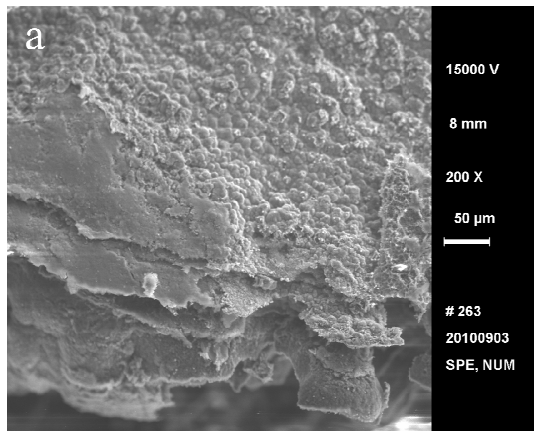
#### B. Катодын депозитийн морфологи бүтэц

Ниргэлгээр үүссэн катодын депозитийн ялгаатай хэсгүүдийн зургийг харуулав. Зургаас харахад катодын депозит гадуураа хатуу бүрхүүлтэй, дотор хэсэг нь нүүрстөрөгчийн олон давхар үеүдээс тогтсон байна (2а,б -р зураг). Дээрхтэй төстэй бүтцийг Yao нар мөн илрүүлсэн байдаг [9]. Олон давхар үеүд үүсэж байгаа нь ниргэлгийн явцад усан дотор хийн бөмбөлөг тасралтгүй үүсэж нуман ниргэлгийн плазмыг бүрхэж буй хийн бөмбөлгийн даралт температурын өөрчлөлтөөс үүдэлтэй байж болох юм.

Мөн катодын депозитийн нүүрэн талын хэсэг олон тооны сүвэрхэг бүтэцтэй (зөгийн үүр шиг) байгаа нь анхаарал татаж байна (2в-р зураг). Ийм төрийн бүтцийг Wang, Lai нар ажигласан ба нүүрстөрөгчийн нанохоолой үүсэх урьдчилсан нөхцөл хэмээн тэмдэглэсэн байдаг [14,15].

Катодын депозитийн нүүрэн тал ба гадна бүрхүүл илт өөр байгаа нь зургаас харагдаж байна (2б,в-р зураг). Энэ нь нумын баганы радиусын дагуух температурын градиенттэй холбоотой [13]. Tang нар катодын депозитийн хатуу бүрхүүлийн үүсэлтийг

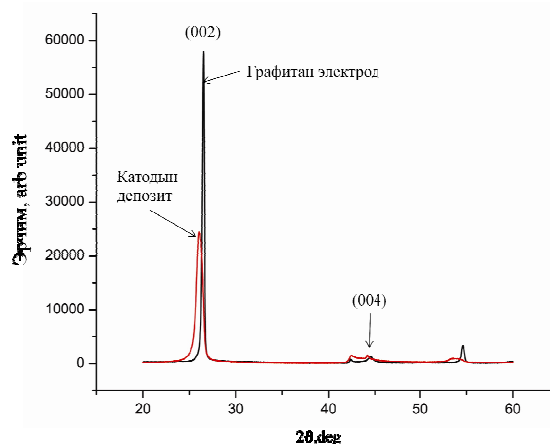
гадаргуу дээрх электрон сугарах ялгаатай хоёр механизмаар тайлбарласан байна [16].



зураг. а-  
б- катодын  
катодын

#### В. Катодын депозитийн кристалл бүтэц

Катодын депозит, цэвэр графитан электродын рентген дифрактометрийн спектрийг 3-р зурагт үзүүлэв.



үүссэн катодын  
родын рентген

Катодын депозитийн дээжийн (002) хавтгайн дифракцийн спектрийн эрчим багасч, өргөн болсон нь катодын депозит аморф нүүрстөрөгч их хэмжээгээр агуулж байгааг илтгэж байна [17,18].

#### IV. ДҮГНЭЛТ

Усан доторхи нуман ниргэлэгт катодын депозит үүсэх нөхцөлд усны температур шууд нөлөөлж байгааг орчин-катод-плазм хоорондын дулаан солилцоогоор тайлбарлаж болох юм. Катодын депозитийн морфологи бүтцэд нумын радиусын дагуух температурын градиент нөлөөлж байна.

Цаашид туршилтын төхөөрөмжийг сайжруулж, катодын депозитийн бүтцийг нарийвчлан судална. Энэ судалгаатай хавсран нуман ниргэлгийн үйлчлэл дэхь усны найрлага, бүтцийн судалгааг үргэлжлүүлэн хийнэ.

#### ТАЛАРХАЛ

Энэ ажлыг инновацийн “Ус, Усны нанокластерийн судалгаа” (Н1.5.1) төслийн хүрээнд хийхэд санхүүгийн тусламж үзүүлсэн ШУТСанд талархал илэрхийлье.

Туршилтын төхөөрөмжийг хийхэд үнэтэй зөвөлгөө өгч техник деталийн тусалцаа үзүүлсэн Профессор Л.Дэмбэрэл багшид баярлалаа.

**Ашигласан материал:**

- [1] Iijima, Nature 354 (1991) 56.
- [2] A. Shashurin, M. Keidar, Carbon 46 (2008) 1792-1828.
- [3] M. Keidar, I. I. Beilis, Journal of Applied Physics 106 (2009) 103304.
- [4] N.Sano, H.Wang, M. Chhowalla, I. Alexandrou, G. A. J. Amaratunga, Nature, VOL 414, 506-507 (2001).
- [5] Ch. Poonjaremsilp, N. Sano, H. Tamon, T. Charinpanitkul, Journal of Applied Physics 106 (2009) 104315.
- [6] L.P.Biro, Z.E. Horvath, L.Szalmas, K.Kertesz, F.Weber, G. Juhasz, G. Radnoczi, J.Gyulai, Chem. Phys. Lett, VOL 372, 399-402 (2003).
- [7] Y. L. Hsin, K. C. Hwang, F.-R. Chen, J. J. Kai, Adv. Mater 13 (2001) 830.
- [8] H.W. Zhu, X.S. Li, B. Jiang, C.L. Xu, Y.F. Zhu, D.H. Wu, X.H. Chen, Chem. Phys. Lett. 366 (2002) 664.
- [9] Y. Yao, R. Wang, D. Wei, D. Du, and J. Liang, Nanotechnology 15 (2004) 555-558.
- [10] J. Guoa, X. Wang, Y. Yao, X. Yang, X. Liu, B. Xua, Materials Chemistry and Physics 105 (2008) 175-178.
- [11] Б.Бат-Эрдэнэ, *Усан дахь нуман ниргэлгийн катодын депозитийн судалгаа*, Магистрийн диплом, МУИС-ФЭС, Улаанбаатар 2010.
- [12] A.Anders, Cathodic arcs, Springer, 2008.
- [13] Yuri P. Raizer. Gas Discharge Physics. Springer-Verlag, Berlin, 1991.
- [14] X.Wang, X. Lin, V.Dravid, J. Ketterson, R. Chang, Appl Phys Lett 66 (1995) 4271995.
- [15] H.Lai, M.Lin, Y.M.ang A.Li, Mater Sci Eng C16 (2001) 232.
- [16] D. Tang, L.Sun, J.Zhou, S. Xie, Carbon 43 (2005) 2812-2816.
- [17] B. Bat-Erdene, T. Begzsuren, Sh. Munkhjargal 1<sup>st</sup> FRANCO – MONGOLIAN WORKSHOP On Material Science: Theoretical and Experimental Aspects, 2010.
- [18] B. Bat-Erdene, T. Begzsuren, N. Tuvjargal, Sh. Munkhjargal, Mongolian-German Workshop on Advanced Materials, 2010.