

Нүүрстөрөгчийн нанометрийн эрэмбийн хэмжээтэй бүтцүүдийн механик онцлогууд

Ж. Ванчинхүү^{1*}, Б. Бат-Эрдэнэ¹, Э. Баянжаргал²

¹ МУИС, ШУС, Физикийн тэнхим

² Аналитик лаборатори, Материал судлалын салбар, ФТХ-ШУА

Усанд дотор нүүрсэн электродын хооронд явагдах нуман ниргэлгийн явцад катод дээр ургасан материал болон ниргэлгийн явцад электродуудаас салж орчин луу орсон хэсгүүдийн бүтэц, шинж чанарыг судлав. Электродоос ууршин ус руу орж байгаа хэсгүүдийг цуглуулж авсан дээж нь нүүрстөрөгчийн нимгэн үе ба хуудсуудаас тогтох микроны эрэмбийн хэмжээтэй жижиг хэсгүүд ба нанометрийн эрэмбийн хэмжээний диаметрэй шугаман хэсгүүдийг агуулдаг. Катод дээр ургаж томорсон материал нь гурван өөр төрлийн жижиг хэсгүүдээс тогтох бөгөөд эдгээрийн дотроос нанометрийн эрэмбийн хэмжээтэй жижиг хэсгүүд болон шугамлаг хэсгүүдийн нэгж эзлэхүүн дотор орших тоо нь хамгийн олон байдаг. Энэ дээж дотор агуулагдах шугаман бүтцүүдийн зарим хэсэг нь нанохоолой, зарим нь нано утас байх ба эдгээр нь хоёр хэмжээт нимгэн үе графитаас хуулах үедээ хуйлагдан эргэх замаар эсвэл графитын доторхи жижиг үрлүүд болон аварга хэмжээтэй хэсгүүдээс ургах замаар бий болдог.

УДИРТГАЛ

Ус, шингэн азот зэрэг үл шатах шингэн төдийгүй бензин мэтийн шингэн орчин дотор зарчмын хувьд нуман ниргэлэг явуулах боломжтой байдаг. Ийм төрлийн ниргэлгийг тогтмол гүйдлээр явуулах үед анод эвдрэхээс гадна катод болгон авсан электрод урган томорч байдаг [1-5]. Катодын ургасан хэсгийн дотор үүсэж байгаа янз бүрийн бүтээгдэхүүний морфологийн шинж чанарыг [6-7], харин бүтцийн онцлогийг [8-9] ажлуудад судалсан байдаг. Энэ ажилд бид усан дотор нүүрсэн электродын хооронд явагдах тогтмол гүйдлийн нуман ниргэлгийн явцад катод дээр ургаж буй материал болон ниргэлгээс ялгаран гарсан материалуудыг судлав. Эдгээр дээжийг гарган авахдаа 99.9% цэвэршилттэй графит электродуудын хооронд усан орчинд тогтмол гүйдлийн нуман ниргэлэг үүсгэв. Энэ туршилтанд лабораторийн нөхцөлд нэрсэн ус ашигласан болно. Дээжийг гарган авахад хэрэглэсэн графит нь цахилгаан дамжуулал сайтай, сөрөг эсэргүүцлийн температурын коэффициенттэй, температур нэмэгдэхэд бат бөх чанар нь дээшилдэг, бараг соронзон чанаргүй материал юм. Гэхдээ графитын доторхи үеүдийн эвдрэлтэй холбоотойгоор түүнд соронзон чанар үүсэж болдог. Ийм графитаар электрод хийж өндөр гүйдлийн нуман ниргэлэг явуулах үед катод нь ургаж томордог. Үүний зэрэгцээ ниргэлгийн явц дахь электродын ууршилттай холбоотойгоор ниргэлэг явагдаж

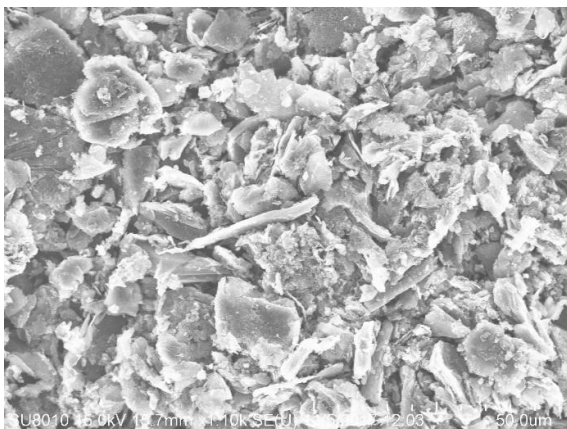
байгаа усан дотор их хэмжээний жижиг хэсгүүд ялгарсан байдаг. Ийм материалуудыг тунгалаг биетийн гадаргуу дээр суулган ялгаж тасалгааны температурт хатаах замаар гарган авлаа. Катод дээр ургасан бүтэц болон ниргэлгийн явцад усан дотор ялгаран гарсан бүтээгдэхүүнүүдийн механик болон морфологийн онцлогуудыг SEM болон SEM EDX (SIEMENS SU8010) хэрэглэн судлан гаргав.

ЯЛГАРСАН БҮТЭЭГДЭХҮҮНИЙ ОНЦЛОГУУД

Ниргэлгийн явцад электродуудаас салж ниргэлэг явагдаж байгаа орчин луу орсон бүтээгдэхүүнүүд (Зураг 1) нь хэлбэр, хэмжээний хувьд харилцан адилгүй олон жижиг хэсгүүдээс тогтдог. Эдгээрийн ихэнхийг микроны эрэмбийн хэмжээтэй ширхэгүүд бүрдүүлэх бөгөөд 5-10 мкм-ээс дээш шугаман хэмжээтэй томоохон хэсгүүд нь хоёр үндсэн бүтэцтэй байна. Тэдгээрийн томруулсан байдлыг Зураг 2-д үзүүлэв. Эдгээр том хэсгүүдийг сайтар ажиглан харахад эдгээрийн зарим нь хурц төгсгөлүүдтэй байхад зарим нь мохоо байдаг. Шугаман хэмжээний хувьд том, хурц төгсгөлүүдтэй хэсгүүдийг томруулахад нэлээд зузаан хуудсуудаас тогтож байгаа нь тодорхой харагддаг (Зураг 2а). Эдгээрийн зузаан хэдэн арван нанометрээс ихгүй байна. Харин нөгөө нь маш нимгэн дан нүүрстөрөгчөөс тогтох үеүдийг

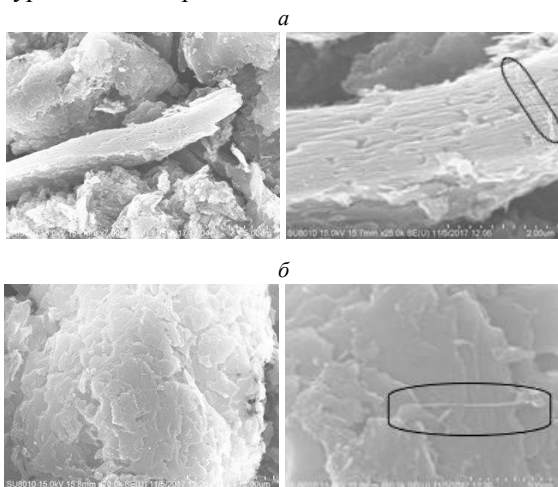
* Electronic address: jvanchinkhuu@yahoo.com

(хоёр хэмжээст үе) давхарлан тавьсан мэт бүтэцтэй байдаг (Зураг 2б).



Зураг 1. Ниргэлгийн явцад электродуудаас салж гарсан хэсгүүдийн ерөнхий төрх.

Тэдгээрт хийсэн SEM EDX анализаас үзэхэд дан нүүрстөрөгч элемент агуулсан байгаа нь харэгдана (Хүснэгт 1). Эдгээр нимгэн үеүдийн зузааныг бараг хэмжих боломжгүй боловч ямарч гэсэн хэдхэн нанометрээс ихгүй нь харэгддаг. Харин мкм-ийн эрэмбэтэй буюу түүнээс жижиг хэмжээтэй хэсгүүд нь ихэвчлэн эдгээр томоохон хэсгүүдээс салсан жижиг хуудсууд байх боловч тэдгээрийн дотор цул жижиг хэсгүүд байгаа нь ч бас ажиглагддаг. Энэхүү салсан хэсгүүдийн дотор дурдсан бүтцүүдээс гадна диаметрийн хувьд хэдхэн нанометрийн хэмжээний эрэмбэтэй, уртын хувьд микрометрийн эрэмбэтэй бараг шугаман хэмжээс бүхий хэсгүүд бас олддог. Энэ бүтэц Зураг 2а болон Зураг 2б-д тодорхой ажиглагдана.



Зураг 2. Ниргэлгийн явцад электродуудаас салж гарсан хэсгүүд дотор ажиглагдах хоёр үндсэн бүтэц: а) том хэмжээтэй үелэн давхарласан хуудаснуудаас, б) дан нүүрстөрөгчийн нимгэн хавтгайнуудаас тогтох бүтэц, (Зургуудын дээр шугамлаг хэсгүүд тод харагдаж байна).

Энэ хэсгүүд ямар нэг өөр хэсгүүдтэй холбогдолгүйгээр дангаар орших нь бараг үгүй, ихэвчлэн хуудаснууд юмуу, хавтгайтай аль нэг үзүүрээрээ эсвэл хоёр үзүүрээрээ холбогдсон байдаг. Үүнээс гадна эдгээр нь заавал шулуун байх албагүй, тахир, муруй хэлбэртэйгээр ч бас тааралддаг. Энэ дээжийн дотор дангаараа салж гарсан хоёр хэмжээст үе огт тааралддаггүйг онцлон тэмдэглэх нь зүйтэй.

Хүснэгт 1. Салсан хэсгүүдэд хийсэн EDX анализын дүн.

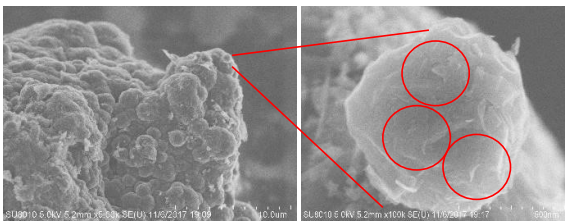
	Elт.	Line	Intensity, (c/s)	Atomic %	Atomic Ratio	Conc	Units	Error 2-sig
а	C	Ka	766.69	100.0	1.0000	100.0	wt. %	1.033
б	C	Ka	552.93	100.0	1.0000	100.0	wt. %	1.172

УРГАСАН ХЭСГИЙН БҮТЭЦ

Ниргэлгийн явцад катод улам бүр урган томорч байдаг. Урган томорсон энэ хэсэг нь электродтой харьцангуй бат бэх холбогдсон байдаг боловч ургалтын чигт хөндлөн чиглэлд харьцангуй хялбархан салж нимгэн хуудсууд үүсгэдэг (Зураг 3). Эдгээр хуудсууд хөндлөн чиглэлдээ нэлээд бат бөх чанартай байдаг. Энэ бүтээгдэхүүнийг тусгайлсан ялгах, салгах арга хэрэглэлгүйгээр шууд механикаар салган авч үйлж нунтаглан бүтцийг нь судалж болно. Бид энэ ажилд дээжээс нимгэн хуудас салган авч судлав. Энэ материалын захын хэсгийг харахад аль болох бага гадаргуутай болохыг эрмэлзэн бөмбөлөг хэлбэрийг голчлон олж авсан байх бөгөөд нарийвчлан ажиглавал олон жижиг бөмбөрцөг хэлбэртэй бөөмцөрүүдээс тогтсон байдаг (Зураг 4). Энэ нь графит халах үед түүний гадаргуу орчмын хэсгүүд жижиг золь хэлбэрт шилжин ууршиж байдгийг харуулж байгаа юм. Энэ нь графит хайлалгүйгээр сублимацийн замаар ууршдагтай холбоотой. Эдгээр дусал бөөмцөрүүдийн дотроос гадаргуугаас бараг салж байрласан нэг жижиг бөөмцөрийн томруулсан байдлыг Зураг 4-т үзүүлэв.

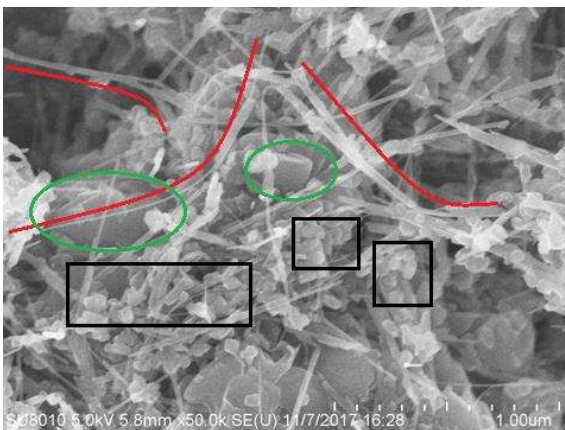


Зураг 3. Ниргэлгийн явцад электрод дээр ургасан хэсгийн гадаад байдал: а) хөндлөн огтлол, б) ургасан материалыг хажуугаас нь харсан байдал, в) нимгэн хуудасны дотоод байдал.



Зураг 4. Графитаас салах явцдаа хуйлран эргэж буй дүрсүүдийг улаан тойргоор хүрээлэв.

Эдгээр бөөмцөрүүд нь микроны эрэмбийн (0.5-5 мкм) хэмжээтэй бөгөөд нарийвчлан ажиглахад тэдгээр нь мөн л нимгэн үеүдээс тогтдог нь тодорхой харагдана. Түүнчлэн энэ нимгэн үеүд хууларч салах явцдаа хуйлагдан хоолой хэлбэр лүү шилжих бүтэц үүсгэж байгааг ажиглаж болно. Энэ дүр зураг дээжийн гүнд ажиглагддаггүй. Ингэж графитын гадаргуу дээр бөөмцөр үүсэх, мөн бөөмцөрийн гадаргуу дээр хоёр хэмжээст хавтгайгаас гурван хэмжээст бүтэц үүсэх процесс зөвхөн гадаргуу дээр явагддаг гэдгийг дээжийн гүнд авсан зургуудтай харьцуулан баталж болно. Харин үеийн дотоод бүтцийг томруулбал (Зураг 3в) энэ нь голчлон хөндлөн чигт эмх замбараагүй байрлах урт нарийхан утаснуудаас тогтдог нь тодорхой харагдах бөгөөд эндээс хөндлөн чигтээ бат бөх чанартай байх нь тодорхой болж байгаа юм.

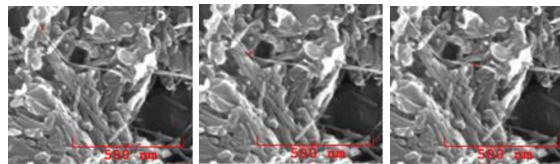


Зураг 5. Ниргэлгийн явцад ургаж томорсон катодын материалын дотоод бүтэц. Энэ зурагт жижиг хэсгүүд (хар тэгш өнцөгт), шугамлаг хэсгүүд (улаан шугамуудын дагуу) болон микрометрийн эрэмбийн хэмжээтэй том хэсгүүд (ногоон эллипс дотор) тод ажиглагдаж байна.

Томорч ургасан энэ бүтээгдэхүүний дотоод бүтцийг харахын тулд дээжийг нунтаглаж гарган авсан SEM дүрсийг Зураг 5-д үзүүлэв. Энэ SEM дүрсээс үзэхэд энэ дээж (i) 50-100 нм-ээс ихгүй шугаман хэмжээтэй, бараг бөмбөрцөг хэлбэртэй жижиг хэсгүүд, (ii) хөндлөн огтлолын өргөн нь хэдэн арван нанометрээс ихгүй, урт нь хэдэн арван нанометрээс микрометр хүрэх

эрэмбэтэй урт шугамлаг хэсгүүд, (iii) хөндлөн огтлолын шугаман хэмжээ нь хэдэн зуун нанометрээс микрометрийн эрэмбэтэй байх аварга хэмжээтэй томоохон бүхэл хэсгүүд гэсэн гурван үндсэн хэсгийг агуулж байгаа нь ажиглагддаг.

Ургасан хэсгийн дотор байгаа эдгээр жижиг хэсгүүдэд хийсэн EDX анализын дүнгээс үзэхэд олонхи нь дан ганц нүүрстөрөгч элементээс тогтоно. Энд төлөөлөл болгон Зураг 6-д үзүүлсэн тахир шугаман хэсгийн хувьд хийсэн EDX анализын дүнг үзүүлээ (Хүснэгт 2).



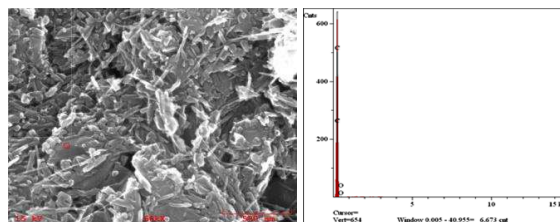
Зураг 6. Ниргэлгийн явцад ургаж томорсон катодын материалын доторхи нэг шугамлаг бүтцийн EDX-ийг авсан цэгүүд.

Энэ шугаман хэсгийн уртын дагуух янз бүрийн цэгт хийсэн анализын дүн энэ бүтэц бүхэлдээ дан нүүрстөрөгчөөс тогтож байгааг харуулдаг.

Хүснэгт 2. Шугаман элементэд хийсэн EDX анализ.

	Elt.	Line	Intensity, (c/s)	Atomic, %
a	C	Ka	639.44	100.000
б	C	Ka	692.22	100.000
в	C	Ka	598.34	100.000

Үүний зэрэгцээ бусад хэсгүүд дээр хийсэн анализын дүн ч эдгээр нь дан нүүрстөрөгчөөс тогтож байгааг харуулдаг. Харин энэ дүгнэлтээс гажих нэг тохиолдлыг Зураг 7-т үзүүлэв. Энэ нь аварга хэмжээтэй бөөмцөр дээр ажиглагддаг. Энд хүчилтөрөгчийн атомд харгалзах спектр ажиглагдах ба уг бөөмцрийн доторхи хүчилтөрөгчийн атомын эзлэх хувь 1.5%-аас хэтэрдэггүй. Энэ нь өндөр температурын үйлчлэлээр явагдах усны молекулын диссоциациар үүссэн хүчилтөрөгчийн атомуудын мөр төдий зүйл байх боломжтой юм.

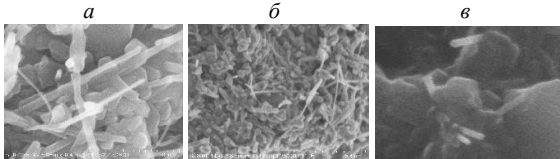


Зураг 7. Ургасан материалын дотор ажиглагдах аварга хэсгийн тэмдэглэсэн цэг дээр ажиглагдах хүчилтөрөгчийн атомын спектр.

Одоо катод дээр ургасан бүтцийн дотор агуулагдах үндсэн хэсгүүдийг тус бүрд нь нарийвчлан авч үзье.

1) Ийм жижиг хэсгүүдийн онцлог нь бусад бүрдүүлэгч хэсгүүдтэй харьцуулахад дангаараа оршин байх нь элбэг бөгөөд хэмжээний хувьд 50-100 нм-ээс ихгүй шугаман хэмжээтэй, бөмбөрцөгт ойр хэлбэртэй байдаг. Дээжийн дотор тааралдах хамгийн жижиг элементийн шугаман хэмжээ 10 нм, харин дангаар орших хамгийн томынх шугаман хэмжээ 90-100 нм хүрдэг. Эдгээр нь макро хэсгүүд дээр олонтаа тааралдах боловч түүний макро хэсэгтэй холбоотой, эсвэл түүнээс ургасан эсэхийг энэ судалгааны хүрээнд тодорхойлох боломжгүй байна.

2) Шугамлаг хэсгүүд нь хэмжээгээрээ харилцан адилгүй боловч хэлбэрийн хувьд гонзгой буюу сунасан, бараг шугаман бүтэц байдаг. Үүний зэрэгцээ эдгээр бүтэц нэг үзүүрээрээ эсвэл хоёр үзүүрээрээ заавал өөр нэг элементтэй холбогдсон байдаг. Эдгээр элементүүд олонхи тохиолдолд макро болон жижиг хэсгүүдээс урган гарсан байх ба хэмжээ нь уртассан үедээ нөгөө үзүүрээрээ эсвэл дундуураа өөр хэсэгтэй холбогдсон байдаг (Зураг 8а,в). Мөн богино хэмжээтэй ийм хэсгүүд харьцангуй өргөн диаметртэй бөгөөд үзүүр хэсэг рүүгээ үргэлж нарийссан байдаг (Зураг 8б). Эдгээр нь нэг жижиг хэсгээс олон салаалж ургасан байх нь ч бий. Диаметрийн хувьд 20 нм-ээс хэтэрдэггүй, харин ажиглагдах хамгийн бага диаметр 10 нм-ээс бага байна. Уртын хувьд хэдэн арван нм-ээс эхлээд микрометр хүртэл урттай ч тааралддаг. Эдгээр шугаман хэсгүүдийг нарийвчлан харахад зарим нь хөндий, зарим бараг цул байдаг. Ийм учраас эдгээр нь нанохоолой, нано утас юм. Үүнийг эдгээрийн хөндлөн огтлолыг судлах замаар нарийвчлан шалгаж болно. Нано хоолойн хананы зузаан янз бүр бөгөөд SEM зургийг үндэслэн ойролцоогоор түүний диаметрийн гуравны хоёроос аравны нэгийн хооронд утгатай байгаа гэсэн дүгнэлт гаргаж болно.



Зураг 8. а) нэг жижиг хэсгээс ургасан шугаман хэсэг, б) ургасан хэсгийн доторхи богино, харьцангуй өргөн диаметртэй жижиг хэсгүүдийн үзүүрлүүгээ нарийссан байдал (Энэ зургийн дотор урган уртасч байгаа жижиг

хэсгүүд олныг харж болно), в) аварга том хэсэг дээр ургасан шугамлаг хэсэг.

3) Макро буюу хөндлөн огтлолын шугаман хэмжээ нь хэдэн зуун нанометрээс микрометрийн эрэмбэтэй байх томоохон бүхэл хэсгүүд нь тухайн эзлэхүүний дотор цөөн тоотой тааралдах боловч эзлэхүүний хэмжээ ихтэй учраас дээжийн эзлэхүүний багагүй хэсгийг эзэлнэ. Эдгээрээс зарим тохиолдолд шугаман элементүүд урган гарсан байдаг.

Эдгээр бүтцүүдийн эзлэх хувь хэмжээ, агууламжийн харьцааг тодорхойлох асуудлыг авч үзье. Хэрэв бид энэ дээжийг нэгэн төрөл гэж үзвэл хэвтээ хавтгайн дагуу ажиглагдаж байгаа энэ дүр зураг гүний дагууд ч бас ажиглагдах ёстой. Ажиглагдаж байгаа дүрсийн тодорхой талбайтай хэсгийг сонгон авч энэ талбай дотор ажиглагдах бүтцийг тоолъё. Сонгон авсан талбайг дүрсийн фокусын гүнээр үржүүлэн эдгээр бүтцүүд оршин байгаа мужийн эзлэхүүнийг олно. SEM дүрсийн фокусын буюу харааны талбайн гүнийг $d = \frac{4 \cdot 10^2 W}{A M}$ (W -дээж ба линзийн хоорондох ажлын зай, A -апературын диаметр M -өсгөлт) томъёогоор илэрхийлж болно. Энэ эзлэхүүн дотор орших тухайн нэг бүтцийн тоог эзлэхүүнд харьцуулан уг бүтцийн тоон нягт эсвэл агууламжийг гаргаж болно. Үүнийг бүтэц бүрийн хувьд тодорхойлж хооронд нь харьцуулан тус бүрийн эзлэх хувь хэмжээг тогтоож болно. Энэ тооцоог дээжийн өөр хэсэгт давтан гүйцэтгэж дээжийн дотор тухайн бүтцийн эзлэх хувийг дундажаар тодорхойлно. Энэ аргаар бид дээжийн доторхи тухайн бүтцийн агууламжийг тогтоохдоо нэг төрлийн олон янзын дээжийн өөр хэсэгт авагдсан хэд хэдэн зургийг ашиглав. Энэ аргаар тодорхойлоход дээжийн дотор аварга бүтцийн эзлэх хувь 60%, шугамлаг бүтцийн эзлэх хувь 34%, нанометрийн эрэмбийн хэмжээтэй жижиг хэсгийн эзлэх хувь 6% байна. Дээжийн дотор байгаа элемент бүрийн тоон нягтын харьцаа 1:6:11 байна. Бид энэ тооцоог хийхдээ өөрийн өргөнөөс ойролцоогоор 2 дахин болон түүнээс олон дахин их урттай хэсгүүдийг шугамлаг хэсэгт хамруулсан болно.

ТАЙЛБАР ДҮГНЭЛТ

Усан дотор явагдаж байгаа нуман ниргэлгийн үед үүсэж байгаа материалуудын SEM анализын дүнг үндэслэн эдгээрийн талаар бид дараах хэд хэдэн дүгнэлтийг гаргаж болно. Юуны өмнө

эдгээр хэсгүүд дан нүүрстөрөгчөөс тогтох бүтцүүд юм. Усан дотор явагдаж байгаа ниргэлгийн үед катод дээр урган бий болж байгаа биет хэсгийг бүрдүүлэгч жижиг хэсгүүд нь механикийн хувьд харилцан адилгүй шинж чанартай, дан нүүрстөрөгчөөс тогтох үндсэн гурван хэлбэртэй байна. Эдгээрийн дотроос нано хэмжээтэй шугаман хэсгүүд аль нэг хэсгээрээ заавал өөр нэг хэсэгтэй холбогдсон байдаг нь катодын гадаргуу дээр ургаж байгаа бүтцийн дотор ажиглагдах шугамлаг бүтцүүд (нано хоолой, нано утас) ихэвчлэн ургах замаар үүсдэг гэсэн дүгнэлтэд хүргэж байгаа юм. Нөгөө талаас богино хэмжээтэй ийм хэсгүүд үзүүр хэсэг рүүгээ үргэлж нарийссан байдаг нь үүнийг батлах нэг онцлог юм. Эндээс ургасан хэсгийн дотор байгаа нанометрийн эрэмбийн хэмжээтэй жижиг хэсгүүд болон аварга хэсгүүд нь нано эрэмбийн хэмжээний диаметртэй шугамлаг хэсгүүдийн ургах суурь нь болдог гэсэн дүгнэлтийг мөн гаргаж болно. Бидний гарган авсан дээжийн дотор шугамлаг хэсгийн эзлэх хувь 30% орчим байна. Мөн ургасан хэсгийн гадаргуу дээрх үелсэн бүтэцтэй бөмбөгүүд нь графитын эмх замбараагүй байрласан нүүрстөрөгчийн хоёр хэмжээст үеүдээс тогтох бөгөөд халалтын явцад эдгээр нь түүний гадаргуугаас салж дусал хэлбэрт шилжин ууршдагийг баталж байгаа юм.

Харин ниргэлгийн явцад электродаас салж буй хэсгүүд нь ихэвчлэн нимгэн үелсэн бүтэцтэй, эсвэл хоёр хэмжээст нүүрстөрөгчийн үеүдээс тогтох бараг микроны болон хэдэн арван микроны эрэмбэтэй том эсвэл бүр аварга том хэмжээтэй жижиг хэсгүүд болон шугаман хэмжээстэй янз бүрийн урттай хэсгүүдийг агуулсан байдаг. Микроны эрэмбийн хэмжээтэй болон аварга хэмжээтэй бөөмцөрүүдийн гадаргуу дээр хууларч буй хоёр хэмжээст үеүд тодорхой ажиглагддаг. Харин дангаараа хууларч салсан нимгэн үе огт тааралддаггүй. Эдгээр нь хууллагдахдаа ихэвчлэн нэг үзүүр нь хуйлран эвхэгдэх байдлаар хуулардаг. Түүнчлэн эдгээр жижиг хэсгүүдийн гадаргуу дээр хууларч буй хоёр хэмжээст үеүд тодорхой ажиглагддаг. Энэ нь нүүрстөрөгчийн хоёр хэмжээс үеүд хууллах явцдаа хуйлагдан нано хоолой, нано утас үүсгэдэг гэсэн дүгнэлт хийхэд өөрийн эрхгүй хүргэж байгаа юм. Ийм замаар үүссэн шугамлаг хэсгүүдийн онцлог нь харьцангуй урт, жигд өргөнтэй байгаа нь харагддаг. Тухайлбал, Зураг 2-г ажиглагдаж байгаа шугаман хэсгүүд

харгалзан 902.5 нм, 554.65 нм урттай байна. Иймд хоёр хэмжээст хавтгайг хуйлах замаар илүү урт шугамлаг бүтцүүдийг үүсгэх боломжтой юм.

ТАЛАРХАЛ

Энэ ажлыг гүйцэтгэхэд техникийн дэмжлэг үзүүлсэн ӨМӨЗО-ны БИС-ийн функциональ материалын лабораторийн эрхлэгч проф. О.Төгсөд гүн талархал илэрхийлье.

АШИГЛАСАН МАТЕРИАЛ

- [1] Б.Бат-эрдэнэ, Усан дахь нуман ниргэлгийн катодын депозитын судалгаа, Магистрын ажил, 2010.
- [2] Schur D.V. et al., Proceedings of 9th International Conference on Heat Transfer, Fluid Mechanics and Thermodynamics, 16–18 July 2012, Malta, pp. 1711, 2012.
- [3] Y.Kim, J. Plasma Fusion Res. SERIES, Vol. 8, pp. 612, 2009.
- [4] И.В. Карпов и др, Журнал технической физики, том 84, вып. 4, стр. 93, 2014.
- [5] J. G. Darias González, Proceedings of the XV Workshop on Nuclear Physics and IX International Symposium on Nuclear and Related Techniques, February 9-13, 2015, Havana, Cuba, pp. 7, 2015.
- [6] M. K. Sanyal, Pure Appl. Chem., Vol. 74, No. 9, pp. 1553, 2002.
- [7] R.Sharma et al., Cogent Engineering, 2: 1094017, 2015.
- [8] T.K. Sham, Int. J. Nanotechnol., Vol. 5, pp. 1194, 2008.
- [9] M.V.Antisari, Carbon, v. 41, pp. 2393, 2003.