

Улсын бүртгэлийн  
дугаар .....

Нууцын зэрэглэл:  
Б

Аравтын бүтэн  
ангиллын код

Төсөл гүйцэтгэх гэрээний дугаар  
№ ШуГх/бел/-2019/20

Монгол улсын их сургуулийн Шинжлэх ухааны  
сургууль, Физикийн тэнхим

## **Фуллерен болон түүний металт комплексоор сайжруулсан композит материал, полимерийн шинж чанар ба боломжит хэрэглээ**

Шинжлэх ухаан, технологийн төслийн судалгааны ажлын тайлан  
2019-2022

Төслийн хавсран гүйцэтгэгч  
байгууллага:

Төслийн удирдагч:

Санхүүжүүлэгч байгууллага:

Захиалагч байгууллага:

Тайланг өмчлөгч:

Гүйцэтгэгчдийн хаяг, утасны  
дугаар

Монгол улсын их сургууль

Д.Улам-Оргих (PhD)

(МУИС, ШУС, Физикийн тэнхим)

Шинжлэх ухаан, технологийн сан

Боловсрол, Соёл, Шинжлэх ухааны

Яам

МУИС, Мэдээллийн технологийн

үндэсний парк

Монгол улс, Улаанбаатар хот, Их

сургуулийн гудамж 1

Утас: 99891240

Улаанбаатар

2023

## РЕФЕРАТ

1970 онд фуллерен гэдэг нүүрстөрөгчийн 60 атомоос тогтсон молекул оршин байж болохыг Э.Озава, Р.В.Хенсон, Д.А.Бочвар, Е.Г.Гальперин нар таамаглан хэлж 1985 онд Х.Крото, Курл, Смалей нар анх гарган авч Нобелийн шагнал хүртсэн. Энэ цаг мөчөөс хойш фуллерен болон фуллерен төстэй молекулуудыг шинэ материал гарган авахад өргөнөөр хэрэглэдэг болсон. Фуллерен болон нүүрстөрөгчийн нано-хоолой агуулсан материалын судалгааг дэлхийн олон шинжлэх ухааны төвүүдэд хийж байна.

Энэ молекулд  $\pi$ - холбоог үүсгэж буй электрон холбогдсон байдаг онцлогтой. Энэхүү холбоо нь металлын холбоотой харьцуулахад маш сул холбоо байдаг. Нөгөө талаас фуллерены молекулын диаметр хэмжээ 7 Å байдаг. Металл дотор фуллереныг холиход их том хэмжээний молекул орохын зэрэгцээ металлын холбоо сулраад түүний оронд  $\pi$ - холбоо давамгайлах болно. Иймээс металлын шинж чанар өөрчлөгдөнө. Фуллерены молекул том хэмжээтэй тул их орон зай эзэлнэ,  $\pi$ - холбоо нэмэгдэж механик шинж, деформацилах шинж, цахилгаан болон оптик шинж чанар эрс өөрчлөгдөх ёстой.

Ийм учраас бид металл дотор фуллереныг холиод түүний шинж чанар хэр зэрэг өөрчлөгдөхийг судлах зорилго тавьсан. Төмөр дотор нүүрстөрөгчийг дөрвөөс илүү хувиар хольж болдоггүй адил фуллереныг металл дотор холихдоо их хэмжээгээр холих шаардлага байхгүй, бидний судалгаагаар 0.5-аас 1 хувиас их хольж болохгүй гэж тогтоогдсон.

### СУДАЛГААНЫ ЗОРИЛГО:

Сүүлийн жилүүдэд янз бүрийн металлыг нано-хоолойгоор чанаржуулан түүний физик, химийн шинж чанарыг өөрчилж шинэ материал гарган авах судалгаа дэлхий нийтэд өндөр хурдацтай явагдаж байна.

Бид металл (Ti, Cu, Sn, Fe, Au, Ag, Pb гэх мэт), мөн түүнчлэн полимер нэгдлийг фуллерен C<sub>60</sub> -аар хольцлон чанаржуулж харилцан адилгүй зузаантай дан, давхар, олон давхар нимгэн хальсан дээжүүдийг вакуумын орчинд ууршуулан, оптик шилэн дээр суулган гарган авах зорилго тавьсан. Гарган авсан дээжүүдээс, фуллеренээр хольцолсон металл дээжийн физик шинж чанарыг судлах ба фуллеренээр

хольцолсон полимертэй дээжийн оптик шинж чанарыг судална. Энэ чиглэлийн судалгааны ажлыг МУИС-ийн судлаач багш нар, Беларусийн их сургууль болон Беларусийн дулаан ба масс солилцооны институтийн хамт олонтой 2000 оны эхэн үеэс хамтарч гүйцэтгэсэн бөгөөд уг хамтын ажиллагааны хүрээнд нийт 8 төсөл хэрэгжүүлсэн.

## **СУДАЛГААНЫ АРГА ЗҮЙ:**

Металл болон тэдгээрийн хайлшийг судлахад өргөн хэрэглэдэг туршлага дээр суурилсан сонгодог арга зүйг ашиглав. Түүнээс гадна мезоскопик шинж чанарыг судалдаг шинэ багажнууд, мөн электрон микроскоп, атомын гадаргуугын микроскоп зэргийг хэрэглэсэн. Фуллерен агуулсан бодисууд бол их эсэргүүцэлтэй учраас оролтын эсэргүүцэл ихтэй, 0.02-0.5 ангиллын (классын) багаж хэрэглэдэг. Энэ юу гэсэн үг вэ гэвэл алдаа нь 0.02-0.5 хувиас хэтрэхгүй гэсэн үг. Судалгаа явуулахдаа өөрсдийн боловсруулсан багц програм ашиглан тоон тооцоог гүйцэтгэхээс гадна дараах диагностик аргуудыг ашигласан. Үүнд:

- Өндөр омын резистометр
- Импедансын спектроскоп
- Линникийн микроинтерферометр
- Электрон микроскоп болон рентген микроанализ
- Атомын хүчний микроскоп

Янз бүрийн бүрэлдэхүүн бүхий дээжийг вакуумын технологийн (ууршилт, конденсац, диффузи, сублимаци) арга болон компонентуудын уусмал болон суспензийг тодорхой хувиар холих замаар бэлтгэнэ. Дээжүүдийг бэлтгэх суурь бодис болгон шил, цахиурын исэл NaCl, KBr, гялтгануурын нимгэн хальсыг авч 20...200 °C хүртэл халааж хэрэглэв. Суурь бодисын гадаргууг хэрэглэж заншсан стандарт аргаар цэвэрлэсэн. Эхлээд гадаргуугаа изопропилийн спиртээр, дараа нь цэвэр усаар угаалаа. Суурь бодисын гадаргууд залгигдсан агаарыг зайлуулахын тулд термостатад хийж 130 °C -ын температурт хатаав. Нимгэн хальсыг гаргахын тулд 99.99% -ын цэвэр молибден ба КЭФ-20 маркийн цахиурын монокристаллыг ашиглав.

Рентген диффрактограмм авах дээжийг суурь бодис дээр 1см×1см хэмжээний квадрат хэлбэртэй нимгэн хальс ууршуулан цацаж бэлтгэсэн. Хальсны гадаргуугийн талбайн хэмжээ ба зузаан бага өнцгөөр рентген-грамм авахад шаардлагыг бүрэн хангасан байв. Өөрөөр хэлбэл, ялгах чадвар сайтай рентгенограмм өгч байлаа.

Нимгэн хальсны гадаад бүтэц буюу морфологи, мөн нэгэн төрөл чанарыг металломикроскоп МИМ-8 ба оптик интерферометр МИИ-4 -ийн тусламжтай тодорхойлов. Микро бүтцийн фото зургийг хэрэглэн мөхлөгүүдийн хэмжээг тодорхойлсон болно. Дээжүүдийн бүтцийн анализыг  $\lambda=0.178888$  нм урттай кобальтын цацралыг хэрэглэн ДРОН-2 дифрактометр дээр гүйцэтгэсэн. Рентген хоолойд өгөх хүчдэл 20кВ, анодын гүйдэл 20мА байлаа. Дээжийн гадаргуугийн нимгэн үеэс дифракцалсан монохроматик цацралын өнцөг дагуух тархалт буюу дифрактограммыг КСП-4 бичигчээр тасралтгүй бүртгэж байв.

Тундасжуулан гарган авсан фуллеренээр чанаржуулсан нимгэн хальсны хувийн эсэргүүцлийг дөрвөн зондын аргаар хэмжсэн. Хэмжилтийн турш бүх зонд нэг шугам дагуу байрлаж байснаас гадна зондуудын хоорондох зай 1.0 мм байлаа. Контактуудын хоорондох зайг өөрчлөх ба янз бүрийн дээжүүдийг хэмжихийн тулд нэг контактыг хөдөлгөөнтэй хийв.

Хэмжилт хийх явцад контакт ба дамжуулах утасны эсэргүүцлийг тооцож байлаа. Эсэргүүцлийн температурын хамаарлыг хэмжихийн тулд дээжүүдийг 390 К хүртэл халааж, хөргөлтийг тасалгааны температурт  $1.5-1.6 \text{ К} \cdot \text{мин}^{-1}$  хурдтайгаар явуулсан.

## **СУДАЛГААНЫ ШИНЭЛЭГ ДАВУУ ТАЛ:**

Фуллерены нүүрстөрөгчийн молекулууд графит мэт хавтгай дээрх ковалентын холбоогоор үүсгэгдэхгүй харин огторгуйд бөөрөнхий хэлбэр үүсгэж оршин байдаг. Иймээс ковалент холбоос хооронд өнцөг үүсгэдэг учраас бусад молекултай холбогдохдоо онцлог шинжтэй. Энэхүү өвөрмөц шинж чанарыг ашиглаж, металлд хольж янз бүрийн ашигтай шинж чанарыг сайжруулах, хамгийн үр ашигтай горимыг туршлагаар тогтоох судалгаа явуулснаараа шинэлэг талтай. Ямар онцлогтой болохыг онолоор шийдэхэд төвөгтэй. Фуллеренд зоны онолыг хэрэглэдэг ч сайн үр дүнд хүрдэггүй, учир нь зоны онол маш олон тооны атом молекулаас тогтох төлөвт хэрэглэдэг бол фуллерены хувьд 60-аад тооны атом молекулаас тогтсон систем

учраас ерөнхий төлөвийг харахаас илүү тооцоо үр дүнд хүрдэггүй. Ямар онцлогтой гэдгийг туршлагаар тогтоосон хэд хэдэн шинэ үр дүн гарган авсан бөгөөд туршлагын олон баримт шинээр тогтоогдон хуримтлагдаж байна. Мөн янз бүрийн суурь материалд нано-бөөм оруулах талаар олон аргыг туршин нэвтрүүлсэн. Фуллерен болон нүүрстөрөгчийн нано хоолойг материалд маш бага хувиар (массын 1% хүртэл) хольцлоход тэдгээрийн физик-химийн шинж чанар мэдэгдэхүйц (зарим тохиолдолд хэд дахин) өөрчлөгддөгийн тогтоосон. Энэхүү судалгааны санаа нь нүүрстөрөгчийн нано-бөөмийн талаарх бидний өмнөх ажлуудын үр дүнгээс төрсөн бөгөөд анх удаа дэвшүүлж байгаа санаа болно.

## **ҮР ДҮН:**

1. Полистрол, полипропилены ба полиэтилен (өндөр даралтын) гэх мэтийн полимерт хольсон фуллерены концентрац 0,5% -иас хэтрэхгүй байвал фуллеренүүд полимерийн молекуляр гинжтэй харилцан үйлчилж суурь бодисын бүтцийг эмхлэхэд оролцоно. Фуллерен C<sub>60</sub> -ын концентрацыг нэлээд ихэсгэвэл тэдгээр нь бөөгнөрч фуллеритын кластерийг үүсгэх ба кластерийн хэмжээ концентрац эсэхэд томорно. Ингэхлээр бүтэц бүрэлдэн тогтох процесс дараах байдалтай явагдана. Концентрац бага байхад (0.5% -иас бага полимерийн суурь бодисын бүтэц эмхрэн сайжрах ба фуллеритын кластерууд үүсэж томроход эмх замбараа алдагдаж эхэлнэ.
2. Мөнгөний арллаг жижиг бүтэц бүхий полипропилены спектрт плазмын резонансын залгилттай холбоотой залгилтын зурвас гарч ирнэ. Композитын бүтэц фуллерены орж ирснээс болж богино долгионы муж дахь залгилтын зурвас өргөсөхөөс гадна залгилтын хэмжээ ихэснэ. Нано бүтцийн дотор фуллеренүүд орсноос металлын нано бөөмсүүдийн хоорондох хамтын электродинамик харилцан үйлчлэл сулрана.
3. Янз бүрийн хэмжээний  $n_{Me}/n_{C_{60}}$  агуулсан харилцан адилгүй зузаантай Ti-C<sub>60</sub> ба Cu-C<sub>60</sub> системийн цахилгаан ба термо-цахилгаан шинж чанарыг хувийн эсэргүүцэл  $\rho$ , термо-цахилгааны эффектив чадвараас хамааран судлахад

эдгээр хэмжигдэхүүнд концентрацийн үзүүлэх нөлөө зузааны үзүүлэх нөлөөнөөс хүчтэй байв.

4. Нимгэн хальсны доторх хувийг багасгахад термо ЦХХ ба термо-цахилгаан эффектив чадвар хэд дахин өсөхөд, хувийн эсэргүүцэл хэдэн эрэмбээр өсч байлаа. Фуллеренээр чанаржсан нимгэн хальсыг агуулсан бүтцийн термо-эффектив чадвар хагас дамжуулагчийг агуулсан бүтцийнхээс хэдэн эрэмбээр илүү байв.
5. Титан ба C60 –ыг нэгэн зэрэг конденсацлахад үүссэн Ti-C60 –ын нимгэн хальсны рентгенограмм дээр гарсан  $d/n = 7.4, 7.14, 6.86, 5.01 \text{ \AA}$  атомуудын хавтгайнуудаас ойход гарсан шинэ диффракцийн шугамууд титаны атом ба фуллерен хоёрын шинэ нэгдэлтэй холбоотой байж болох юм. Ti-C60 –ын копозиц нимгэн хальс түүний бүрэлдэхүүнд орсон компонентуудын хувь хэмжээний тодорхой интервалд R-C-L хэлхээний шинжтэй байна.
6. Металл-фуллерены композиц материалын физик ба физик-химийн шинж чанар түүн дотор нано-бөөмсийн хувь (массын 1% хүртэл) өчүүхэн байхад асар их хязгаарын дотор өөрчлөгдөх боломжтой байдаг (заримдаа хэд дахин).

## Түлхүүр үгс

Фуллерен, Фуллерид, Фуллерит, Металт комплекс, полимерийн шинж чанар, Композиц материал

## **ГҮЙЦЭТГЭГЧДИЙН НЭРСИЙН ЖАГСААЛТ**

1. Д.Улам-Оргих (МУИС, ШУС, Физикийн тэнхим, дэд проф.) удирдагч
2. Г.Шилагарди (МУИС, ШУС, Физикийн тэнхим, доктор) үндсэн гүйцэтгэгч
3. П.Түвшинтөр (МУИС, Байгаль-Эх лицей ахлах сургууль, экологийн боловсролын төв, доктор) үндсэн гүйцэтгэгч

# СЭДЭВТ АЖЛЫН ХҮРЭЭНД ХЭВЛЭГДСЭН

## БҮТЭЭЛИЙН ЖАГСААЛТ

1. Э. М. Шпилевский, С.А. Филатов, А.Г.Солдатов, Д. Улам-Оргих, П. Тувшинтур, М.Отгонбатор, С. Мунхцэцэг, Д.Тимур-Батор, Г. Шилагарди. Формирование композитов на основе полимеров и металлофуллереновых комплексов. NANOMATERIALS AND TECHNOLOGIES — VIII Proceedings of the 8th International Conference “Nanomaterials and Technologies”, the 8th International Conference on Material Science, the 5th Conference on Functional Materials. Baikal Lake, Russia. August 24-28, 2019.
2. Шпилевский Э.М., Филатов С.А., Филатова О.С., Замковец А.Д., Шилагарди Г., Улам-Оргих Д., Тимур-Батор Д., Мунхцэцэг С., Тувшинтур П., Эрдэнэбатор Д. Структура и электрические свойства на переменном токе Титан-фуллереновых пленок. МУИС-ийн эрдэм шинжилгээний бичиг, Физик, No30/527. 2020.05.15 х.15-19. Улаанбаатар, Монгол.
3. E.M.Spilevski, S.A.Filatov, A.D.Zamkovets, G.Shilagardi, D.Ulam-Orgikh,S.Munkhtsetseg, P. Tuvshintur, D. Tumurbaatar. Mechanical and optical properties of fullerene contained polymers. Proceedings of The 9th International Conference on Materials Science. September 10- 13, 2020. Ulaanbaatar, Mongolia.
4. P.Tuvshintur, D.Ulam-Orgikh, M.Otgonbaatar,S.Munkhtsetseg, E.M.Shpilevsky, G.Shilagardi. Electrical properties of titanium- fullerene films. Proceedings of The 9th International Conference on Materials Science. September 10- 13, 2020. Ulaanbaatar, Mongolia.
5. П.Тувшинтур, Е.М.Шпилевский, С.А.Филатов, Г.Шилагарди, Д.Улам-Оргих, С.Мунхцэцэг. Электрические свойства и термоэлектрическая эффективность металлфуллереновых пленок. МУИС-ийн эрдэм шинжилгээний бичиг, Физик, No31/536. 2020.11.19 х.84-88. Улаанбаатар, Монгол.
6. P. Tuvshintur, E. M. Shpilevsky, S. A. Filatov, A. D. Zamkovets, G. Shilagardi, S. Munkhtsetseg, D. Ulam-Orgikh, D. Tumurbaatar. Optical property of contained



fullerene polymers. Solid State Phenomena. Vol 323. pp.42-47. 2021. CH-8806  
Baech, Switzerland.

7. “Фуллерен, фуллерит, фуллерид ба металл-фуллерены композиц материалыг гарган авах тэдгээрийн шинж чанар” сэдэвт номыг хэвлэн гаргасан.



# Гарчиг

|   |    |
|---|----|
| <i>РЕФЕРАТ</i> .....  | 2  |
| <i>СУДАЛГААНЫ ЗОРИЛГО</i> :.....  | 2  |
| <i>СУДАЛГААНЫ АРГА ЗҮЙ</i> :.....   | 3  |
| <i>СУДАЛГААНЫ ШИНЭЛЭГ ДАВУУ ТАЛ</i> : .....   | 4  |
| <i>ҮР ДҮН</i> :.....  | 5  |
| <i>Түлхүүр үгс</i> .....  | 6  |
| <i>ГҮЙЦЭТГЭГЧДИЙН НЭРСИЙН ЖАГСААЛТ</i> .....  | 7  |
| <i>СЭДЭВТ АЖЛЫН ХҮРЭЭНД ХЭВЛЭГДСЭН</i> .....  | 8  |
| <i>БҮТЭЭЛИЙН ЖАГСААЛТ</i> .....   | 8  |
| <i>Металл ба фуллерен дээр үндэслэгдсэн шинэ композиц материалууд</i> .....   | 12 |
| Фуллерен агуулсан материалын хэрэглээ .....   | 13 |
| Фуллеренээр чанаржуулсан полимерын оптик шинж чанар.....  | 15 |
| Туршлага явуулах аргачлал.....  | 17 |
| Эзлэхүүндээ харилцан адилгүй хэмжээний фуллеренийг агуулсан полимерийн<br>композит нимгэн хальсаар нэвтрүүлсэн гэрлийн спектр ..... | 18 |
| Фуллеренээр чанаржсан нимгэн хальсны цахилгаан ба термо-цахилгаан шинж<br>чанар.....  | 23 |
| Технологийн ба диагностик аргууд .....  | 24 |
| Туршлагын үр дүн ба түүнийг шүүн хэлэлцэх .....   | 26 |
| Титан фуллерены нимгэн хальсны бүтэц ба хувьсах гүйдэл дэх түүний цахилгаан<br>шинж чанар.....                                      | 31 |
| Металл ба фуллерен дээр үндэслэгдсэн шинэ композиц материалууд .....  | 37 |
| Цахилгаан нумын ниргэлгээ хэрэглэн гарган авсан металл фуллерены<br>материалууд.....  | 39 |

|  |           |
|--|-----------|
| Хамтатгасан атом-молекулын багцын урсгалыг хэрэглэн металл-фуллерены материал гаргах.....  | 40        |
| Металл-фуллерены материалыг гальванкийн аргаар гарган авах.....  | 41        |
| Металл-фуллерены материалыг гаргах металлургийн арга .....   | 44        |
| Нунтаг металлургийн аргаар металл-фуллерены материалыг гарган авах.....  | 44        |
| Цохих долгионы динамик ачааллын аргаар металл-фуллерены материалыг гарган авах .....   | 45        |
| <i>Дүгнэлт: .....</i>  | <i>47</i> |
| <b>АШИГЛАСАН МАТЕРИАЛ.....</b>   | <b>49</b> |
| <b>ХАВСРАЛТ “ФУЛЛЕРЕН БОЛОН ТҮҮНИЙ МЕТАЛТ КОМПЛЕКСООР САЙЖРУУЛСАН КОМПОЗИТ МАТЕРИАЛ, ПОЛИМЕРИЙН ШИНЖ ЧАНАР БА БОЛОМЖИТ ХЭРЭГЛЭЭ” СЭДЭВТ СУУРЬ СУДАЛГААНЫ АЖЛЫН ХЭВЛЭГДСЭН, ИЛТГЭГДСЭН АЖЛУУД .....</b> | <b>52</b> |

## **Металл ба фуллерен дээр үндэслэгдсэн шинэ композиц материалууд**

Металл ба нүүрстөрөгчийн нано-бөөмс агуулсан композиц материалуудыг фуллерен ба нано-хоолой гарган авдаг байгууламжийг хэрэглэн  $(13-65) \cdot 10^3$  Па даралттай гелийн орчинд цахилгаан нумын тусламжтай гаргаж авна [1]. Фуллеренүүдийг цахилгаан нумыг бага даралттай гелийн орчинд асаан үйлдвэрлэх процессын үед анод ба катодын аль аль нь графит байна. Цахилгаан нум асаж, ниргэлээ явах процесст, анод эрчимтэй задрахын хамт үүссэн нано-бөөмүүд хөрж байгаа катодын гадаргуу дээр тунадас хэлбэртэй суух ба тэдгээрийн дотор графит, фуллеренүүд, нүүрстөрөгчийн ультра дисперслэгдсэн агрегатууд байна. “Депозит” хэмээн нэрлэгдэх катод дээр үүсэх тунадас нь хувьсах нягттай нүхлэг бүтэцтэй мөөг хэлбэр бүхий бүтээгдэхүүн байдаг. Металл ба нүүрстөрөгчийн нано-бөөмс агуулсан композиц материалыг гаргах процесст электродын материал ба нум асаах технологийн нөхцөлийг үргэлж өөрчилж байлаа. Жишээлбэл, урвал явуулах камерын доторх гелийн даралт, электродын хоорондох зай, нумын гүйдлийн утга, тунадас үүсгэх дулааны горим, материалаа хөргөх нөхцөл гэх мэт болой.

Гелийн даралтыг өөрчилснөөс синтезлэн гаргаж байгаа фуллеренүүд, нүүрстөрөгчийн нано-хоолойнууд ба нүүрстөрөгчийн ультра дисперслэсэн агрегатуудын тоон харьцаа бас өөрчлөгдөнө. Учир нь гелийн молекулууд графитыг задлахад үүссэн элементүүдтэй мөргөлдөхөд тэдгээрийн энерги ба чөлөөт замын урт өөрчлөгдөж, тодорхой нэг даралтад аль нэг бүтээгдэхүүн үйлдвэрлэх таатай нөхцөл бүрэлдэнэ. Гүйдлийг ихэсгэхэд катод дээр кратер (хонхор) үүсэж, захаар хайлж эхлэх ба гадаргуу дээр нь хайлсан металлын дуслууд үүснэ. Харин гүйдлийг багасгавал нум тогтвортой асахаа болино. Бусад нөхцөлийг нь хэвээр байлгаад электродуудын хоорондох зайг өөрчилбөл, бөөмсийн урсгалын нягт, тэдгээрийн катодтой мөргөлдөх энерги өөрчлөгдөнө. Катодын температур металл-нүүрстөрөгчийн нано-бөөмсөөс тогтох композиц материалын бүтцэд нөлөөлнө. Учир нь температур, конденсацлах үеийн диффузийн процесс ба конденсацалсны дараах үенүүд эмхрэн тогтворжиход нөлөөлнө. Тунадасжих хугацаа үүсэх композиц материалын зузааныг тодорхойлохын хамт гүйдэл, температур гэх мэтийн

конденсацлах ба нуман ниргэлгээ явагдах горимд нөлөөлнө. Янз бүрийн горимыг хэрэглэн, гаргаж авсан композиц материалын шинж чанар ба бүтцийг судалснаараа металлтай адил цахилгаан сайн дамжуулдаг нэгэн төрөл, нягт композиц материал гарган авна. Ийм композиц материалын бүх шинж чанарыг мэдсэнээрээ эмнэлэгт хэрэглэдэг функционал хучлагын материалыг эдгээрийн дотроос сонгон олох бололцоог бүрдүүлнэ [2]. Ингэхлээр цахилгаан нумын аргаар хатуулаг сайтай металл шиг цахилгаан сайн дамжуулдаг металл ба нүүрстөрөгчийн нано-бөөмсөөс тогтсон хайлшийг гарган авч болох ажээ. Мөн вакуумд металл ба фуллерены хамт ууршуулах ба янз бүрийн суурь бодис дээр конденсацлуулах аргаар металл-фуллерены композиц материалыг гарган авна. Металлын атом ба фуллерен  $C_{60}$ -ийн молекулуудын тоон харьцаа тодорхой байх зарим тохиолдолд цахилгаан дамжиц сайтай металлын хэсгүүдээс тогтох үенүүд нь хагас дамжуулах чанартай нано-бөөмсийн их биш завсраар тусгаарлагдсан металл фуллерены нимгэн хальсыг гарган авч болдог. Ийм бүтцийг цахилгаан дамжицын үүднээс авч үзвэл өөр хоорондоо холбогдсон бүл конденсаторууд мэт авч үзэж болно. Тэгвэл энэ системийн бүтэн эсэргүүцэл хувьсах гүйдлийн давтамж ихсэхэд багасах ажээ [3-4].

### **Фуллерен агуулсан материалын хэрэглээ**

Орчин үед фуллерен агуулсан материалын хэрэглээний асуудал хурцаар тавигдаж байна. Энэ ажилд фуллерен  $C_{60}$  –ийг агуулсан материалыг боловсруулан гарган авах аргууд, эдгээр материалын шинж чанар, хэрэглээний хэтийн төлөвийн асуудлыг хөндөнө.

#### **1. Цахилгаан техникийн материал**

Тодорхой хэмжээний металл ба фуллерен  $C_{60}$  –ын молекулыг агуулсан металл-фуллерены нимгэн хальсыг бүтцийн хувьд фуллеретын диэлектрик чанартай бөөмүүдээр хоорондоо тусгаарлагдсан цахилгаан сайн дамжуулдаг металлын бөөмсүүдээс тогтсон систем хэмээн үзэж болно. Цахилгаан дамжицийн талаас авч үзвэл, ийм бүтцийг өөр хоорондоо холбогдсон бүл конденсаторууд бөгөөд түүний хувьсах гүйдэлд учруулах бүтэн эсэргүүцэл давтамж ихсэхэд багасна.

Металл-фуллерены бүтэц фуллеритын нано-бөөмсийн хувийг ихэсгэхэд эсэргүүцлийн багтаамжийн ба омын эсэргүүцлийн утгуудын аль аль нь өөрчлөгдөнө. Энэ өөрчлөлтөөс болж бүтэн эсэргүүцэл нь бага дамжицийн муж руу шилжинэ [5].

Ингэхлээр металл-фуллерены бүтэц хувьсах гүйдэлд R-C-L хэлхээний үүрэг гүйцэтгэх тул түүнийг электротехникийн материал мэт ашиглах боломжтой.

## 2. Хөдөлгөөнтэй цахилгаан контактын материалууд

Хөдөлгөөнтэй цахилгаан контактуудын хучлагыг вакуум ба гальванын технологийг хэрэглэн хийдэг. Вакумын технологийг ашиглан янз бүрийн хэмжээний компонентуудыг агуулсан Ag-C<sub>60</sub>, Cu-C<sub>60</sub>, Al-C<sub>60</sub>, Fe-C<sub>60</sub> –ийн систем ба тэдгээрийн хольцоос тогтсон 40 орчим композиц материалыг гарган авсан. Хамгийн оптимал бүтэцтэй композиц материалыг гарган авахын тулд дараах хоёр зарчмыг баримталлаа: а) өндөр цахилгаан дамжицтай байх, б) үрэлтийн коэффициент гэх мэт болно. Гаргаж авсан композиц материалуудаас 60% Al+30% Cu+9% F+1% C<sub>60</sub> агуулгатай материалын хувийн эсэргүүцэл  $60 \cdot 10^{-4}$  Ом·м, хуурай үрэлтийн коэффициент 0.22 байлаа [6].

## 3. Үрэлдэж байдаг зангилгааны хучлага

Үргэлж үрэлтэд нэрвэгддэг зангилгааны хучлагын тоонд АК5М2 маркийн хөнгөн цагааны хайлшаар үйлдсэн оксидокерамик хучлага орно. Эхлээд цахилгаан нумын аргаар нано-хөндий бүхий оксид бэлтгэж, дараа нь оксидоо фуллерен C<sub>60</sub> -аар дүүргэнэ. Ийм аргаар бэлдсэн хучлагын элэгдэл ( $I_n=2.5 \cdot 10^{-10}$ ) [7] фуллеренгүйнхээс 3 дахин бага, үрэлтийн коэффициент нь 30-40% -иар буурсан байв.

## 4. Тензо-резистив элементүүд

Металл-фуллерены нимгэн хальсны тензо-резистив эффектийг ашиглан тензо бүртгэгчийг зохион бүтээж болно. Металл-фуллерены нимгэн хальсны тензо мэдрэмж 10 –аас их байдаг бол цагаан алтан хальсных 1.6 –аас хэтрэхгүй.

## 5. Фотоныг бүртгэгч тоолуур

Фуллеренүүд 280-680 нм –ын мужид фото-дамжицтай байдаг нэг фотон залгиснаас электрон ионы хос үүсэх магадлал 0.9 байна [8]. Фуллерен ба металлын бөөмсөөс тогтсон арлан (тусгаарлагдсан металл хэсгүүдээс бүрдэх) ба торон (өөр хоорондоо холбогдсон металл хэсгүүдээс бүрдэх) хэмээх хоёр янзын бүтэц байна.

## 6. Залгилтыг бүртгэгч тоолуур

Металл-фуллерены нимгэн хальс сайн залгигч композиц материал юм. Бидний судалгааны үр дүнгээс үзвэл, янз бүрийн хэмжээний зэсийн атом ба фуллерены

молекул агуулсан ( $N_{Cu}:N_{C60}$ ) Cu-  $C_{60}$  –ын нимгэн хальсны эсэргүүцэл хүчилтөрөгч залгих процессыг хүчтэй мэдэрч байлаа [9].

Металл-фуллерены бүтэц фаз үүсдэгийг ашиглан технологийн аргаар асар их сонгон залгих чадвартай бас бус өөр шинж чанар бүхий материалыг буй болгож болно [10]. Эндээс үзвэл, фуллерен агуулсан материалуудыг фото-цахилгаан байгууламжид сенсор болгон ашиглах хэт ирээдүйтэй ажээ. Эсэргүүцэл нь арван хувиар өөрчлөгдөх композиц бүтэцтэй материалыг залгилтыг мэдрэгч багаж болгон ашиглаж болно.

#### 7. Хүчний орны өөрчлөлтийг мэдрэх багаж

Гаднын цахилгаан ба соронзон металл-фуллерены нимгэн хальсны электронтой харилцан үйлчилснээс түүний эсэргүүцэл өөрчлөгдөнө [11]. Тэгвэл ийм нимгэн хальсыг гаднын орны хэмжигдэхүүнийг тодорхойлоход ашиглахаас гадна деформацийн хэмжээ ба бас бусад хэмжигдэхүүний утгыг хянахад хэрэглэж болно. Металлын суурь бодист шигтгэсэн фуллеренүүд сулхан цахилгаан соронзон ба электроны урсгал, деформац, хүчний орон мэдрэх чадвартайгаас гадна өөр бодис нэмж хэрэглэгдэх хязгаарыг нь өргөтгөж болно.

#### 8. Оптик багаж төхөөрөмжүүд

Металл-фуллерены нано-бүтэцтэй нимгэн хальсыг хүчтэй лазерын туяагаар шарахад түүн дотор плазм үүсдэг байна. Өндөр температуртай электрон протон гэх мэт эгэл бөөмсөөс тогтсон бүтэцтэй бодисын төлөвийг плазм гэдэг. Ийм плазм дотуур гэрэл нэвтрүүлэхэд резонансаар залгих үзэгдэл ажиглагддаг. Тэгвэл фуллерит алт, зэс, мөнгө, цагаан тугалганаас тогтох (Au-  $C_{60}$ , Ag-  $C_{60}$ , Sn-  $C_{60}$ ) нимгэн хальс дотуур үзэгдэх гэрэл ба инфра улаан туяа нэвтрүүлэхэд буй болох плазмын резонансан залгилтын зурвасын эрчим нано-бүтцийн параметрууд, түүнийг гарган авах агаарт хир зэрэг удаан хадгалснаас хамаардаг байна [12].

### **Фуллеренээр чанаржуулсан полимерын оптик шинж чанар**

Сүүлийн арваад жилд фуллеренээр чанаржуулсан полимерууд дээр үндэслэгдсэн шинэ материал гарган авах асуудалд эрдэм шинжилгээний сэтгүүлүүд их анхаарал хандуулах болжээ. Энэ үед хийгдсэн бүх шинжилгээ судалгааны гол зорилго нь фуллерен  $C_{60}$ -ын онцгой гоц нандин чанар ба полимерийн ашигтай

чанарын аль алиныг хослуулсан мөртөө тэдгээрийн хамтын үйлчлэлээс давсан идэвхтэй шим бодисыг гарган авахад оршиж байлаа. Электрон-акцепторын шинжтэй фуллерены цөөхөн тооны молекул агуулсан нэгдлүүдтэй донор-акцепторын төрлийн ковалент биш холбоосоор холбогдож үүсгэсэн нэгдлүүд нь янз бүрийн бүтэцтэй полимерт холиход комплекс үүсгэх чадвараа хадгалан үлддэг байна [13-15]. Төрөл бүрийн полимер доторх фуллеренүүд харилцан адилгүй үүрэг гүйцэтгэнэ. Заримдаа  $C_{60}$  молекулууд өөрсдөө полимерзацид орж полимерийн гинжийн нэг хэсэг болно. Эсвэл төрөл бүрийн төрхтэй полимерийн гинжүүдийг холбох холбоос адил төрхтэй байрлана. Хоёр дахь тохиолдолд  $C_{60}$  молекулууд хэд хэдэн полимерийн гинжийг холбох цөмийн үүргийг гүйцэтгэхийн зэрэгцээгээр тэдгээрт холбогдож макромолекулыг үүсгэнэ ковалент ба комплекс холбоостой фуллеренүүдийг полимерийн бүрэлдэхүүнд оруулснаар тэдгээрийг судлах бололцоог өргөтгөхийн хамт өргөн хэрэгцээтэй нимгэн хальс ба утас хэлбэртэй композит материал мөн уусмалыг гарган авах бололцоог баяжуулна. Полимерийг фуллеренээр чанаржуулснаас болж түүний бат бэх цахилгаан дамжиц дулааныг тэсвэрлэх чадвар огцом өөрчлөгддөг. Жишээлбэл, полимерийн хэт уян налархай чанар, нимгэн хальс ба нарийн утас үүсгэх чадварыг фуллерений чөлөөт радикалтай харилцан үйлчлэх эрмэлзэлтэй хослуулснаас эдгээр өөрчлөлтийг буй болгодог [15,16]. Бид, янз бүрийн бодист нано-бөөмсийг хольдог урьд өмнө нь хэрэглэж байсан аргын [17,18] зэрэгцээгээр суурь бодист нь тодорхой хувь хэмжээний фуллеренийг хольсон материалыг гарган авч тэдгээрийн физик, химийн шинж чанарыг судаллаа. Суурь бодист шалихгүй бага хэмжээний фуллеренийг холиход (массын 1% хүртэлх хэмжээний) бодисын шинж чанар ажиглагдам хэмжээгээр (зарим тохиолдолд хэд дахин) өөрчлөгдөж байв [17-19].

Холбогч полимерүүд ба фуллерен төстэй нүүрстөрөгч агуулсан дүүргэгч бүхий композиц материалууд хэт налархай мөртөө элэгдэх хурд багатай байдаг. Ийм материалууд орчин үеийн үйлдвэр аж ахуйн шаардлагыг бүрэн хангах ирээдүйтэй. Энэ ажилд бага хэмжээний фуллерен  $C_{60}$  -аар чанаржуулсан полимерийн композит материалыг гарган авч түүний компонентуудын хоорондын харилцан үйлчлэлийг судлах замаар полимерийн физик шинж чанар ямар шалтгаанаас сайжирсан шалтгааныг тодруулахыг хичээх болно. Суурь бодис болгон полистрол



полипропилен, полиэтилен зэрэг хэдэн сая тонноор үйлдвэрлэдэг өргөн хэрэглэдэг полимерүүдийг сонгон авч тэдгээрийг янз бүрийн хэмжээний фуллеренээр чанаржуулж судалгааны дээжийг бэлдсэн болно. Флуоресценцийн микроскопоор судалгаа явуулахдаа родамин 6G -г буудагч болгон ашиглав.

### **Туршлага явуулах аргачлал**

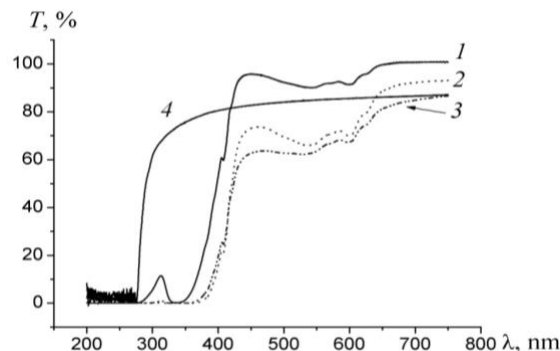
Судалгаанд хэрэглэгдэх төрөл бүрийн бүтэцтэй нимгэн хальсыг дараах аргаар гарган авлаа.

1. Цэвэр полимер дээжүүдийг, тэдгээрийн уусмалыг центрофуг дотор орших кварцан нимгэн шилэн дээр асгаж, дараа нь 20-25<sup>0</sup>C -ийн температурт 48 цаг хатаан гарган авлаа. Полистролийг толуолд өндөр даралтын полиэтилены (ӨДП), 135<sup>0</sup>C температурт халаасан параксилолд полипропиленг (ПП) 100<sup>0</sup>C температуртай толуолд тус тус уусгаж, органик уусмал бэлтгэв.
2. Композит материалын дээжүүдийг полимерийн уусмалд фуллерит C<sub>60</sub> -ыг хольж, удаан хутгаж маш сайн холилдсоны дараа 1-р зүйлд заасан аргаар гарган авсан. Фуллереныг толуолд ба параксилолд уусгалаа.
3. 6G родамины нано үетэй полипропилены дээжүүдийг 1-р зүйлд дурдсаны адилаар центрофугийн дотор гарган авч байхдаа усанд ууссан родамина 6G -ийн уусмалыг дусал дуслаар дээжүүдийн дээрээ гоожуулж байв.
4. Полимер+C<sub>60</sub>+Ag найрлагатай дээжүүдийн полимерийн хэсгийг 1-р зүйлд дурдсан аргаар гарган, C<sub>60</sub> ба Ag -ийн атомуудын урсгалыг түүн дээр 2\*10<sup>-4</sup> Па даралттай вакуумд ууршуулан цацаж дараа нь хөргөх явцыг тунадасжуулан бэхжүүлэв [15].
5. родамин 6G+Ag нано үетэй полипропилены дээжүүдийг гарган авах. 3-р зүйлд дурдсан аргаар бэлтгэсэн дээжүүд дээр 4-р зүйлд хэрэглэсэн 2\*10<sup>-4</sup> Па даралттай вакуумд ууршуулан гаргасан Ag ба C<sub>60</sub> молекулуудын багцын урсгалыг цацаж, дараа нь хөргөж конденсацлуулна. Нано бүтэц үүсэх орчинд цугларах мөнгө ба фуллерены атомуудын урсгалын нягтыг ууршуулагч ба суурь бодис хоёрын хоорондох зайг өөрчлөх замаар тохируулж байв.

Гадаргуугийн морфологи ба дээжин дэх бөөмсийн шугаман хэмжээний зураглалыг Nanoscope A маркийн атомын хүчний микроскопийг хэрэглэн тодорхойлов. Оптик хэмжилтүүдийг хос туяатай спектрометр хэрэглэн гүйцэтгэлээ.

### **Эзлэхүүндээ харилцан адилгүй хэмжээний фуллеренийг агуулсан полимерийн композит нимгэн хальсаар нэвтрүүлсэн гэрлийн спектр**

Полимерийн материалд фуллереныг холих замаар суурь бодисын доторх молекул ба фуллерены агрегатын концентрац ба орон зай дахь тэдгээрийн тархалтыг жолоодож болох ажээ. Ингэж чанаржуулсан композит материалын оптик шинж чанар өөрчлөгдөх нь гарцаагүй. Үнэхээр 1-р зургаас харахад дүүргэгчийн концентрацыг шалихгүй өөрчлөхөд (полимерийн эзлэхүүний 0.5-2%-тай тэнцүү хэмжээгээр) композит системийн нэвтрүүлсэн гэрлийн спектер хүчтэй өөрчлөгдөж байна. Эдгээр үр дүнгээс харвал полистролийн нимгэн хальсыг фуллеренээр чанаржуулахад түүний ультра ягаан туяанаас хамгаалах үйлчлэл сайжирсан байна. 1% -ын  $C_{60}$  агуулсан 0,15мм зузаантай нимгэн хальс, 350 нм -ээс бага долгионы урттай улттра ягаан туяаг бүрэн залгидаг бол (100%-ын) цэвэр полистролийн нимгэн хальс зөвхөн 277 нм -ээс бага урттай ультра ягаан туяаг залгидаг ажээ [15,17]. Концентрац бага байхад (0,5% хүртэл) спектрийн үзэгдэх гэрлийн мужид тунгалаг болж байгаа нь полимерийн молекулууд эмхрэн байрласантай холбоотой гэж үздэг.



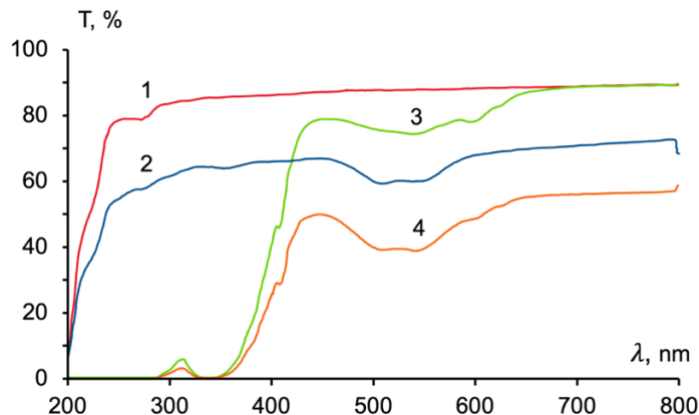
*1-р зураг. 0.5, 1, ба 2% -ын (1-3)  $C_{60}$ -ыг агуулсан полистролийн нимгэн хальсны нэвтрүүлсэн гэрлийн спектрүүд, мөн адил зузаантай мөртөө  $C_{60}$  агуулаагүй цэвэр полистролийн нэвтрүүлсэн гэрлийн спектр.*

Нэвтрүүлсэн гэрлийн зурвас 270-335 нм -ын мужид 314 нм -ын орчимд максимумтай бөгөөд фуллерены молекулуудын концентрацыг 0,05-аас 5% хүртэл ихэсгэхэд түүний эрчим 10 дахин багасаж зурвасын өргөн 280-335 нм хүртэл багасаж байна.  $C_{60}$  молекулын хэмжээ 0,5% -аас их болоход 335-355 нм -ын мужид нэвтэрсэн гэрлийн хэмжээ тэг болно. Урт долгионы мужид полистролоор нэвтрэн гарах гэрлийн (захын) хилийн хамгийн их шилжилт нэмсэн фуллерен  $C_{60}$  -ын хувь 0,5% байхад ажиглагдах ба фуллерены концентрацыг цааш нэмэгдүүлэхэд энэ утга онцын их өөрчлөгдөхгүй. Энэ үр дүн юуг харуулж байна гэвэл тодорхой хэмжээний фуллерены молекулууд полимерийн суурь бодистой харилцан үйлчлэх ба үлдсэн хэсэг нь бөөгнөрч тусдаа шинэ пааз үүсгэнэ гэсэн үг юм.

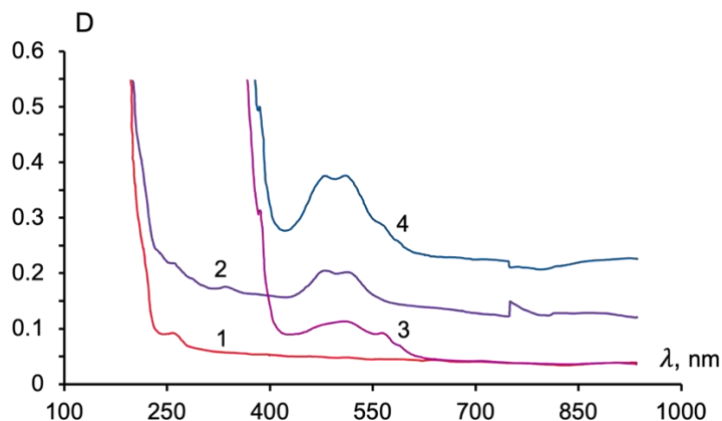
Фуллерен  $C_{60}$  -ын залгилтын зурвасын максимум богино долгионы муж руу шилжиж байгаа нь  $C_{60}$  -ын концентрац бага байхад фуллерены харилцан үйлчлэл байхгүйг харуулж байна. Яагаад гэвэл [18] ажилд дурдсанаар хийн байдалтай фуллеренд түүний молекулуудын залгилтын зурвас 329 нм орчимд ажиглагддаг бол хатуу хэлбэртэй, фуллерены нимгэн хальсанд залгилтын зурвас 350 нм орчимд ажиглагдана. Хатуу төлөвтэй харьцуулбал хийн төлөвтэй бодисын молекулын хооронд барьцалдуулах харилцан үйлчлэл бараг байхгүй гэж үзэж болно.

Полистролд хольсон фуллерен  $C_{60}$  түүнийг тойрон хүрээлэх суурь бодисын молекултай харилцан үйлчилж материалын оптик спектрт өөрчлөлт оруулна. Тухайлбал, 270-340 нм ба 350-900 нм мужид ажиглагдах спектрийн шинж төрхөд өөрчлөлт оруулж нэвтрэн өнгөрөх гэрлийн захын хилийг шилжүүлнэ. Фуллерен  $C_{60}$  -ын концентрац ихсэхэд полистролийн дотор фуллерены кластер бүтэц үүссэнээс нэвтэрсэн гэрлийн спектрт фуллерены нунтгийн залгилтын шугамтай ойролцоо шугам гарч ирнэ. Фуллерены концентрац 2% хүрэхэд полимерийн суурь бодис дотор үүссэн кластер бүтцийг атомын хүчний микроскоп хэрэглэн түүний гадаргуу дээрээс нэвт харж болно. Эзлэхүүндээ бага хэмжээний фуллерен  $C_{60}$  -ыг агуулсан композиц дээжүүдийг нано бүтэцтэй будагч бодис 6G родаминтэй контактлуулахад тэдгээрийн компонентуудын хооронд ажиглагдаж тод харилцан үйлчлэл ажиглагдсангүй. Үүнийг янз бүрийн орчинтой хавьталд орсон дээжүүдээс авсан, нэвтэрсэн гэрэл ба оптик нягтын кинетикийг дүрсэлсэн 2 ба 3 муруйнаас харж болно.

Анализ хийж үзэхэд энэ тохиолдолд компонентуудын оптик нягтууд зүгээр л нэмэгдсэн байв. Хэрэв компонентууд нь харилцан үйлчилсэн бол энэ үйлчлэлийг илэрхийлсэн максимум ба минимум гарах байлаа.



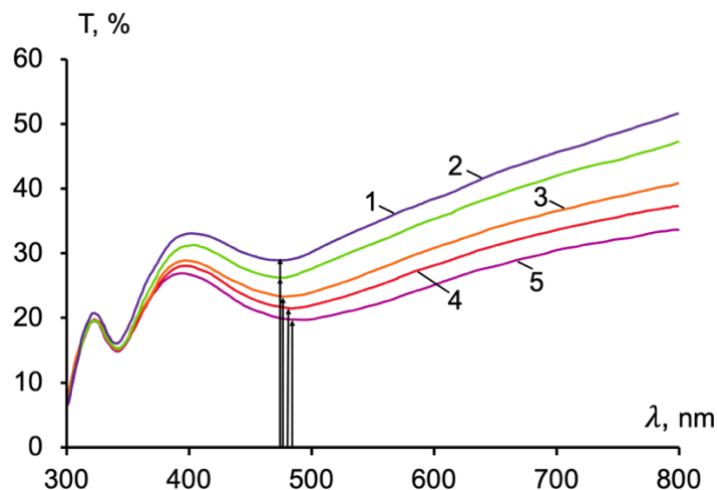
2-р зураг. Полипропилены нимгэн хальсны нэвтрүүлсэн гэрлийн спектр (1), nano үетэй родамин 6G агуулсан нимгэн хальсны спектр (2), 0,5% C<sub>60</sub> агуулсан полимерийн композицийн спектр (3), nano үетэй родамин 6G-г агуулсан нимгэн хальсны спектр (4). Родамина 6G-ийн nano үеийн эффeктив зузаан 5-10 нм болно.



3-р зураг. Полипропилены оптик нягтын спектрүүд: 1) полипропилены цэвэр нимгэн хальс, 2) nano үетэй родамин 6G агуулсан полипропилены нимгэн хальс.

3) 0.5% C<sub>60</sub> агуулсан полипропилен, 4) 0,5% агуулсан полипропилен ба nano үетэй родамин 6G хоёрын холимог. Родамин 6G nano үеийн эффeктив зузаан 5-10 нм.

Цаашид 4 ба 5-р зүйлд дурдсан технологиор бэлдсэн фуллерен агуулсан композит материалын спектриал шинж чанарыг судлав. Атомын хүчний микроскоп хэрэглэн тодорхойлсон хэмжилтийн үр дүнгээс үзвэл Ag ба C<sub>60</sub> -ын жижигхэн арал шиг товгор бүтцүүд нь гадаргуугийнхаа концентрацаас хамаарч 15-30 нм диаметртэй тал бөмбөрцгүүд байлаа. 4-р зурагт гадаргуу дээр янз бүрийн гадаргуугийн нягттай мөнгө (Ag) агуулсан дээжүүдийн нэвтрүүлсэн гэрлийн спектрийг үзүүллээ.



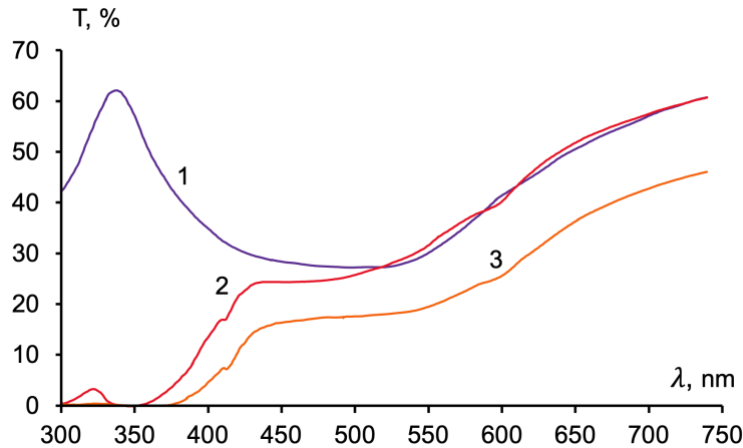
4-р зураг. Янз бүрийн хэмжээний мөнгө (Ag) агуулсан Ag-C<sub>60</sub> композитын нэвтрүүлсэн гэрлийн спектрүүд. Ag (1-5) – (6.0; 6.4; 7.0; 7.4; 8.0) × 10<sup>-6</sup> g/cm<sup>2</sup>; C<sub>60</sub>: (1-5) – 2 × 10<sup>-6</sup> g/cm<sup>2</sup>

1 ба 2-р дээжин дэх мөнгөний хэмжээ Ag- C<sub>60</sub> композитын дотор гадаргуугийн плазмын резонансын залгилт (ГПРЗ) ажиглагдаж эхлэх босгын доод утганд хүрч байв [17,19]. Дээрх зурагт дүрсэлсэн Ag- C<sub>60</sub> -ын системийн нэвтрүүлсэн гэрлийн спектрт ажиглагдах 400-600 нм муж дахь бууралт зөвхөн фуллерит C<sub>60</sub> -ын залгилттай холбоотойгоос гадна бас Ag-ийн nano бөөмсийн цацаргалт суларсантай холбоотой байж болно. Металлын nano бөөмсийн үүсгэх гадаргуугийн плазмын резнансаас болж түүний оптик залгилтын спектрт үзүүлэх нөлөөг [16,18,19] ажлуудад нарийн судалсан болно. Хэрэв будагч бодисын оронд композит материалтай мөнгөний nano бөөмс контактлавал асуудал шал өөр болно.

5-р зурагт полипропилен ба гадаргуу дээр нь Ag -ийн товгорууд агуулсан  $C_{60}$  молекулыг агуулсан полипропилен нэвтрүүлсэн гэрлийн спектрийг үзүүлжээ. 4-р зургийн 1-р спектр ба 5-р зургийн 1-р спектрийг харьцуулан үзвэл, мөнгөний товгор жижигхэн араллаг бүтэцтэй полипропилены нэвтрүүлсэн гэрлийн спектрт металлын нано бөөмстэй холбоотой плазмын резонасын залгилтын зурвасууд гарчээ. Ингэхлээр композиц материалын бүтцэд фуллеренүүдыг оруулснаас болж богино долгионы мужид залгилтын зурвасыг өөрчлөхөөс гадна энэ муж дахь залгилтыг хүчтэй болгожээ.

5-р зурагт үзүүлсэн спектрүүдийг эзлэхүүн дэх фуллеренүүдын хэмжээг ихэсгэхэд (бага зэрэг байж болно) композит бүтцийн эффектив хугарлын илтгэгчийг ихэсгэхэд хүргэх бөгөөд энэ нь плазмын компонентод тусгалаа олно. Электроны онолоор давтамж ихэсгэхэд хугарлын коэффициент ихэсгэх ба багасгахад бас багасна. Өөрөөр хэлбэл давтамж багасахад композит материалын гадаргуугийн плазмын резонансын залгилтын давтамж урт долгионыхоо муж руу шилжинэ. Үнэхээр бидний судалгаанд фуллеренээр чанаржсан композит материалын залгилтын хил урт долгионыхоо муж руу шилжиж байлаа (1-р зургаас хар).

Электроны онолоор металлын дотор чөлөөтэй электроны үүл байх ба тэдгээрийн хамтарсан хөдөлгөөнөөр цахилгаан соронзон хэлбэлзэл үүснэ. Энэ хэлбэлзлийг плазмын хэлбэлзэл гэнэ. Плазмын хэлбэлзэл гадаргуу ба гүнд үүсэж болно. Плазмын хэлбэлзлийн энерги квантлагдах ба нэг квант энергийг плазм гэнэ. Металлын гадаргуу дээр тусах гаднын цахилгаан соронзон долгио буюу гэрлийн давтамж түүний плазмын хэлбэлзлийн давтамжаас их байвал гадаргуугийн плазмын давтамжтай резонанст орсноос гадаргуугийн плазм резонанс үүснэ. Ихэнх металлуудын гадаргуугийн резонансын давтамж ультра ягаан туяаны мужид байдаг. Иймээс гадаргуугийн плазмын резонансын залгилт ультра ягаан туяаны мужид ажиглагддаг. Сүүлийн үеийн судалгаанаас үзвэл гадаргуудаа нано бүтэцтэй үе бүхий мөнгө, алт гэх мэтийн металлын гадаргуугийн плазмын резонансын залгилтын давтамж хэмжээсийн үзэгдлээс болж бага давтамжийнхаа муж руу шилждэг. Бидний судалгаанд энэ үзэгдэл тод харагдаж байна (1-р зургийн 4 ба 1-3 спектр).



5-р зураг. Гадаргуу дээрээ мөнгөний (Ag) nano үедтэй полипропилены нигэн хальс (1) ба эзлэхүүндээ 0,5% (2) ба 1% (3) C60 -ыг агуулсан полипропилены нэвтрүүлсэн гэрлийн спиртүүд.

5-р зурагт үзүүлсэн композит материалын плазмын металл бүрхүүлийн эффектив зузаан 10нм орчим байв. Бидний судалгааны үр дүнд олдсон гибрид функционал оптоэлектронны элементүүд ба сенсоруудыг зохион бүтээхэд ашиглаж болно.

### **Фуллеренээр чанаржсан нимгэн хальсны цахилгаан ба термо-цахилгаан шинж чанар**

Орчин үеийн техникийн хөгжил, асар их хүчтэй энергийн эх үүсгэвэр шаардахгүй олон төрлийн багаж хэрэгслийг зохион бүтээхэд хүргэжээ. Термо-цахилгаан үзэгдэл, механик энергид шилжүүлэх дундаж шатыг дамжихгүйгээр дулааны энергийг шууд цахилгаан энерги болгон хувиргах шинэ бололцоог нээн өгсөн байна [20, 21]. Энергийн эх үүсгэвэр болгон нимгэн хальсаар үйлдсэн термо-цахилгаан хувьсагчийг ашиглаж болно. Энэ жил Томас Иоган Зеебекийн термо-цахилгааны үзэгдлийг нээсний 200 жилийн ой тохиолдож байна. Цахилгаан хэлхээг бүрдэлдүүлэх хоёр өөр төрлийн дамжуулагчийн аль нэг гагнаасыг халаахад цахилгаан хөдөлгөх хүч (ЦХХ) үүсэх үзэгдлийг термо-цахилгаан буюу Зеебекийн үзэгдэл гэнэ. ЦХХ (E) нь хүйтэн ба халуун гагнаасын температурын ялгавар ( $\Delta T$ ) -д пропорциональ байна:  $E = \alpha * \Delta T$  Зеебекийн үзэгдэлд үндэслэн дулааны энергийг шууд цахилгаан энерги болгон хувиргана. ЗХУ -д керосины лампаас гарах дулаанаар хүлээн авагчийг тэжээх энергийн үүсгэврийг хэрэглэж байлаа.

Дамжуулагчдын термо-эффектив чанар дараах илэрхийллээр тодорхойлогдоно:  $Z = \alpha^2 \cdot (\rho \cdot \lambda)^{-1}$ , үүний  $\alpha$  –термо-цахилгааны коэффициент  $\rho$  ба  $\lambda$  -хувийн цахилгаан ба дулаан дамжиц юм.

Заримдаа термо-цахилгаан чансаа хэмээн нэрлэгдэх хэмжээсгүй хэмжигдэхүүн  $\delta = Z \cdot T = \alpha^2 (\rho \cdot \lambda)^{-1} \cdot T$  -ыг хэрэглэдэг, үүний  $T$  -хувиргагчийн ажлын температур буюу хүйтэн ба халуун гагнаасын (контактын) дундаж температур  $(T_1 + T_2) / 2$  юм. Термо-цахилгаан чансаа нь тухайн температурт термо-цахилгаан хувиргагч болгон ашиглаж байгаа материалын хир зэргийн үр дүнтэй байх чанарыг илэрхийлнэ. Тасалгааны температур дэх термо-цахилгаан чансаа нь нэг байх ( $\delta = 1$ ) термо-цахилгаан хувиргагчийг нэлээд сайнд тооцно. Иймээс  $\delta > 1$  байх материал гарган авах бол хэт ирээдүйн чухал зорилт юм.

### **Технологийн ба диагностик аргууд**

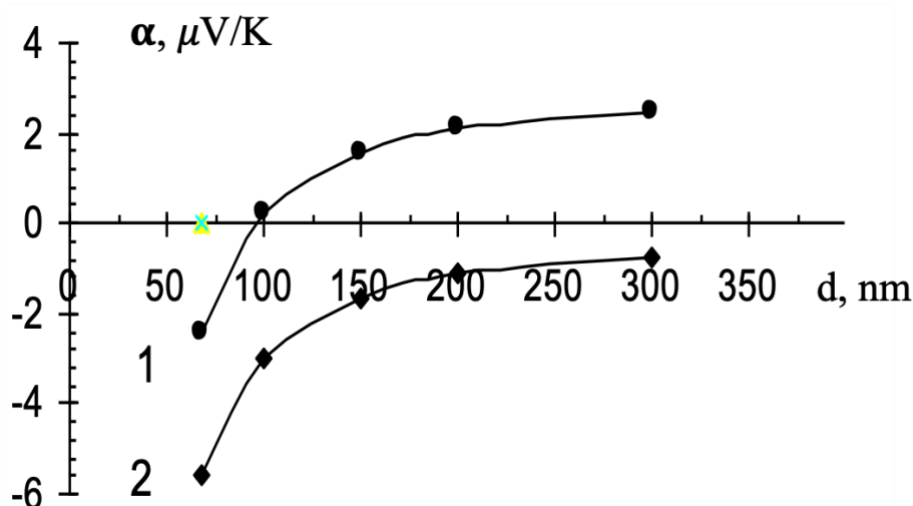
Металл-фуллерены нимгэн хальсныг  $1 \cdot 10^{-4}$  Па даралттай орчинд гарган авлаа. Үүний тулд цахилгаан гүйдлээр халаадаг хоёр ууршуулагчийг ашиглав. Металлыг молебден хундаганаас,  $C_{60}$  -ыг кварцан хундаганаас тус тусад нь ууршууллаа. Янз бүрийн хэмжээний фуллерен агуулсан нимгэн хальсныг гарган авахын тулд ууршуулагчийг тэжээх гүйдлийн хүчийг өөрчлөн компонентуудын атомуудын кластерийн урсгалын нягтыг ихэсгэх ба багасгах, эсвэл ууршуулагч ба суурь бодис хоёрын хоорондох зайг өөрчилж байлаа. Фуллерен  $C_{60}$  -ын молекулуудын урсгалын нягтыг термо-хосоор, металлын металлын атомуудынхыг ууршуулагч дотуур өнгөрөх гүйдэл буюу эталон дээжийн эсэргүүцлийн өөрчлөлтийн хурдаар тохируулж байв. Урьдчилан контакт цацсан уян налархай полистролийн гадаргуу дээр фуллерен  $C_{60}$  -ба металлыг ууршуулах аргаар суулгаж янз бүрийн найрлагатай ба зузаантай композиц материалын нимгэн хальсыг бэлтгэж тэдгээрийн гадаргууг перпендикуляр чиглэлд зүсч, судалгааны дээжүүдийг бэлтгэн авлаа. Нимгэн хальсны эсэргүүцэл, хүчдэл, гүйдлийг RS232C интерфейстэй мультиметр ИТ-70В, вольтметр Щ 68003, ампервольтметр Ф30, катодын вольтметр А4-М2 -оор 4 -өөс 5 орны нарийвчлалтай хэмжлээ. Хавчдаг пүрштэй контактлах байгууламжийг хэмжих багаж газардуулсан экрантай кабелиар холболоо. Халуун төгсгөлийг керамик дотор



байрлуулсан нихром утастай халаагчаар халааж, температурыг хромель-алюмелийн термо-хосоор хэмжив.

Зэс ба титантай харьцуулсан термо ЦХХ-ны коэффициентын таблицын утга +7,6 мкВ/К ба +6,6 мкВ/К, хар тугалганых +4,4 мкВ/К болно [22]. Харин хар тугалганы зэстэй харьцуулсан термо ЦХХ -ны коэффициент  $\alpha = -3,2$  мкВ/К, титантай харьцуулсан утга  $\alpha = -2,2$  мкВ/К байх ажээ. Цахилгаан хэлхээний нэг мөчир нь зэс байх тохиолдолд хэмжин олсон термо-цахилгааны коэффициентын утгуудыг хар тугалган мөчиртэй хэлхээнд шилжүүлэн тооцлоо. Ийм утгуудыг «абсолют» утгууд гэдэг.

Титаны нимгэн хальсны термо ЦХХ -ны коэффициентын утгууд зузаанаасаа хэрхэн хамаарахыг 6-р зурагт дүрслэн үзүүлээ.

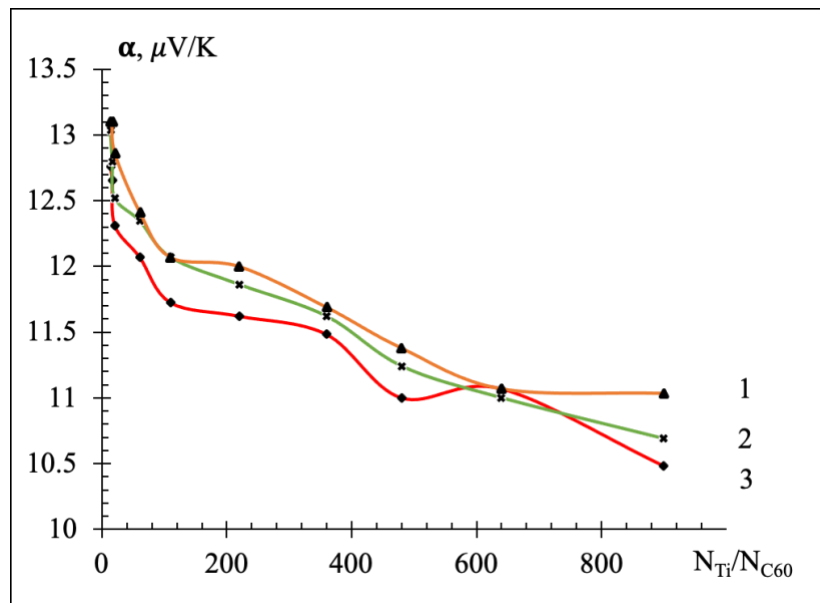


6-р зураг. Титаны нимгэн хальсны термо ЦХХ -ны коэффициент зузаанаас хамаарах: 1- Pb-тэй харьцуулсан, 2- Cu-тэй харьцуулсан.

Энд дулааныг зөвхөн электронууд зөөдөг гэж үзээд дулаан дамжицын коэффициент  $\lambda$  -ыг нимгэн хальсны хувийн цахилгаан эсэргүүцэл  $\rho$  -г хэрэглэн тооцон олов. Видман-Францын хуулиар эдгээр хэмжигдэхүүнүүд доорх харьцаагаар хоорондоо холбогдоно.  $\lambda \cdot \rho = L \cdot T$ , үүний  $L = \pi^2/3(k/e) = 2,47 \cdot 10^{-8}$  Вт·Ом·К<sup>2</sup> -ыг Лоренцын тоо,  $T$  - абсолют температур болно.

## Туршлагын үр дүн ба түүнийг шүүн хэлэлцэх

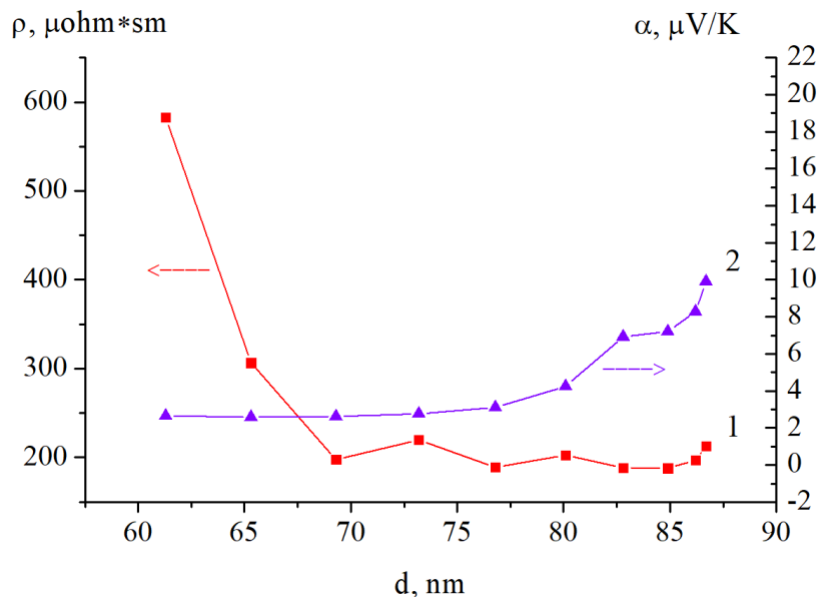
Хос хоёр дамжуулагчийн термо эффектив чанар  $Z$ , термо-цахилгаан коэффициент, хувийн цахилгаан эсэргүүцэл ба дулаан дамжицын коэффициент хэмээх гурван хэмжигдэхүүнээр тодорхойлогдоно. Иймээс термо эффектив чадварыг ихэсгэхийн тулд термо-цахилгаан коэффициентын утга өндөртэй, хувийн цахилгаан эсэргүүцэл ба дулаан дамжиц багатай материалыг гарган авах хэрэгтэй ажээ. Металл-фуллерены нимгэн хальс бол түүний нано хэмжээс ба гетероген бүтцийг өөрчлөх замаар эдгээр гурван параметрийн зохистой харьцааг сонгон авах бололцоотой объектын нэг юм. 7 -р зурагт Ti -C<sub>60</sub> -ийн нимгэн хальсны термо-цахилгааны коэффициент,  $n_{me}/n_{C60}$  -ийн харьцаанаас хэрхэн хамаарахыг харуулжээ.



7 -р зураг. Янз бүрийн зузаантай нимгэн хальсны термо ЦХХ -ны абсолют коэффициент  $n_{me}/n_{C60}$  -ийн харьцаанаас хамаарах: 1)  $d=150$  нм, 2)  $d=110$  нм, 3)  $d=86$  нм.

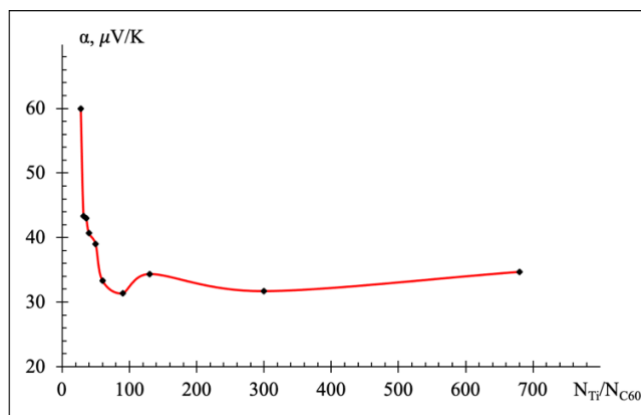
Ti-C<sub>60</sub> -ийн нимгэн хальсны термо-цахилгааны коэффициент, түүний дотор орсон Ti ба C<sub>60</sub> -ын хувиудын (процентын) харьцаанаас хүчтэй хамаарах ба титаны хувь бага байхад 60мкВ/К хүрдэг байна. Харин нимгэн хальсны зузаан термо-цахилгааны коэффициентын утгад онцын их нөлөө үзүүлэхгүй. 8-р зурагт  $n_{Ti}/n_{C60} = 120$  байх

нимгэн хальсны хувийн эсэргүүцэл ба термо-цахилгааны коэффициент түүний зузаанаас хэрхэн яаж хамаарч байгааг харууллаа.



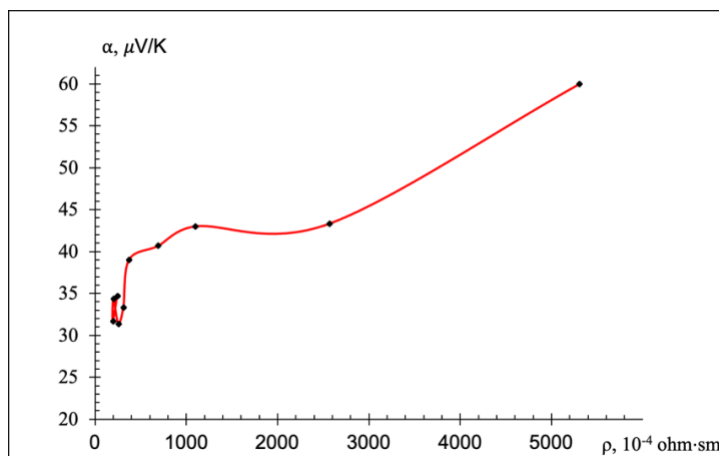
8-р зураг.  $n_{Ti}/n_{C60} = 120$  байх нимгэн хальсны термо-цахилгааны коэффициент  $\alpha$  ба хувийн эсэргүүцэл  $\rho$  түүний зузаанаас хамаарах.

Металлын хувь багасгахад термо-цахилгаан коэффициент хэд дахин өсч байна. Концентрацийн хамаарал нимгэн хальсны зузаан ба металлын концентрац багасгахад хүчтэй илэрч байна. 9-р зурагт  $d=90 \dots 100$  нм зузаантай Ti-C<sub>60</sub>-ын нимгэн хальсны термо-цахилгааны коэффициент титаны атомын тоог фуллерены атомын тоонд харьцуулсан харьцаанаас ( $n_{Ti}/n_{C60}$ ) хэрхэн хамаарах графикийг дүрслэн үзүүллээ.



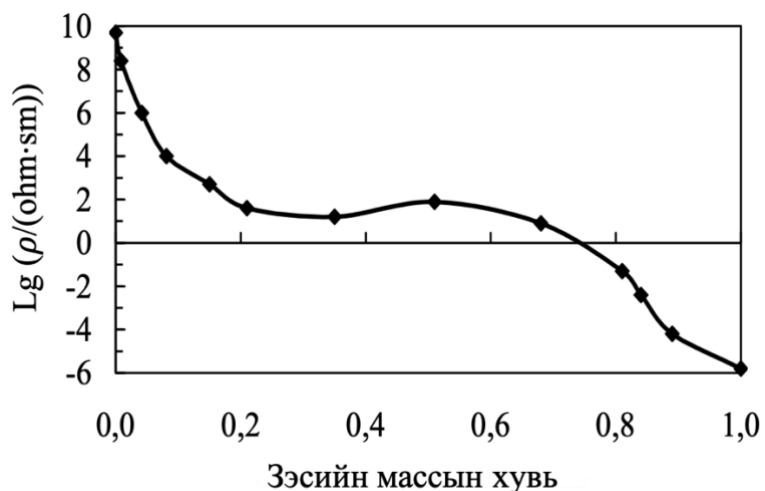
9-р зураг.  $d=90...100$  орчим байхад термо-цахилгааны коэффициент  $\alpha$ ,  $n_{Ti}/n_{C60}$  харьцаанаас хамаарах.

Титаны атомын хувийг ихэсгэхэд термо-цахилгаан коэффициент, хувийн цахилгаан эсэргүүцэл ба термо-цахилгааны эффектив чанарыг буурахад хүргэж байна. 10-р зурагт хар тугалган дамжуулагчтай хосолсон Ti-C<sub>60</sub> -ын нимгэн хальсны термо-цахилгаан коэффициент  $\alpha$  хувийн цахилгаан эсэргүүцэл  $\rho$  -оос хамаарах графикийг дүрслэн үзүүллээ. Хүснэгтэд хар тугалган дамжуулагчтай хосолсон металл-фуллерены нимгэн хальсны хувиргалтын термо эффектив чадварын утгуудыг бичлээ.



10 -р зураг. Ti-C<sub>60</sub> төрлийн нимгэн хальсны термо-цахилгааны коэффициент  $\alpha$ , түүний хувийн цахилгаан эсэргүүцэл  $\rho$  -оос хамаарах.

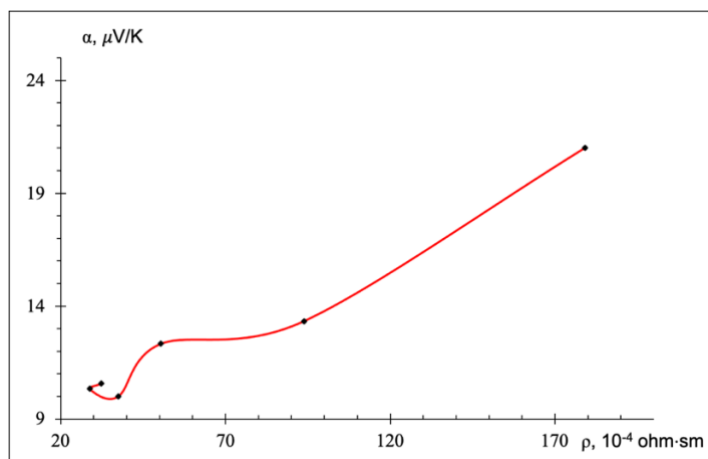
Иймэрхүү хамаарал  $\text{Cu}-\text{C}_{60}$ -ын нимгэн хальсанд бас ажиглагдаж байлаа. 11-р зурагт  $\text{Cu}-\text{C}_{60}$  -ын нимгэн хальсны хувийн эсэргүүцэл ба зэсийн концентрац хоёрын хамаарлыг үзүүллээ. Энд  $n_{\text{Cu}}/n_{\text{C}_{60}} = 12$  -д харгалзах минимум  $\text{Cu}_{12}\text{C}_{60}$  фаз үүссэнтэй холбоотой байж болох юм.



11-р зураг.  $\text{Cu}-\text{C}_{60}$  нимгэн хальсны хувийн эсэргүүцэл зэсийн массын хувиас хамаарах.

$\text{Cu}-\text{C}_{60}$  нимгэн хальсны термо-цахилгаан коэффициент  $n_{\text{Cu}}/n_{\text{C}_{60}}$  -ын хувиудын харьцаанаас хүчтэй хамаарах ба суурь бодис болох фуллерены доторх зэсийн атомуудын хувь тун бага байхад  $25\text{мкВ/К}$  хүрдэг байна.

12-р зурагт хар тугалган дамжуулагчтай хослуулсан  $\text{Cu}-\text{C}_{60}$  -ын нимгэн хальсны термо-цахилгааны коэффициент  $\alpha$ , титаны атомын тоог фуллерены молекулын тоонд харьцуулсан харьцаанаас хэрхэн хамаарах туршлагын муруйг үзүүлжээ.



12-р зураг. Cu-C<sub>60</sub> нимгэн хальсны термо-цахилгааны коэффициент  $\alpha$  ба түүний хувийн эсэргүүцлийн хамаарал.

Нэгэнт дээжийн хувийн эсэргүүцэл өсөхөд түүний дулаан дамжиц буурах тул термо-цахилгааны эффектив чадвар, бараг зөвхөн термо-цахилгааны коэффициентын утгуудаас хамаарч эхэлнэ. Тухайн тохиолдолд термо-цахилгааны хувиргагчийн эффектив чадвар  $Z = \alpha^2 \cdot (\rho \cdot \lambda)^{-1} = \text{const} \cdot \alpha^2$  илэрхийллээр тодорхойлогдох тул хувийн эсэргүүцэл ба дулаан дамжицаас бараг хамаарахгүй. Бид дараах термо-цахилгаан хосуудыг хэрэглэсэн болно: Ti-C<sub>60</sub> нимгэн хальс ба Pb; Cu-C<sub>60</sub> нимгэн хальс ба Pb гэх мэт болно. Доорх хүснэгтэд  $n_{\text{Me}}/n_{\text{C60}}$ -ийн хувиудын харьцааны зарим утгад харгалзах термо эффектив чадварыг бичлээ.

Янз бүрийн хувийн бүтэцтэй ба зузаантай Ti-C<sub>60</sub>, Cu-C<sub>60</sub> нимгэн хальсны термо-цахилгаан эффектив чадвар Z

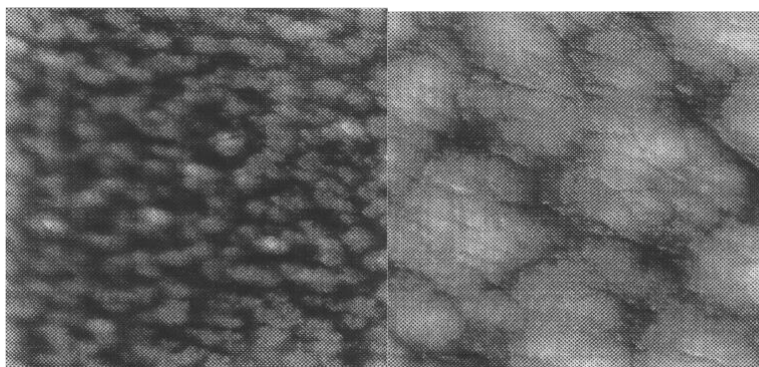
| Материя                        | $\alpha \cdot 10^6$ ,<br>В·К <sup>-1</sup> | Z·10 <sup>3</sup> ,<br>К <sup>-1</sup> | $\alpha \cdot 10^6$ ,<br>В·К <sup>-1</sup> | Z·10 <sup>3</sup> ,<br>К <sup>-1</sup> |
|--------------------------------|--|--|--|--|
| $n_{\text{Me}}/n_{\text{C60}}$ | $\Delta_{\text{cp}}=95 \text{ нм}$         |  | $\Delta_{\text{cp}}=300 \text{ нм}$        |  |
| Ti                             | 8,2  | 2,72                                   | 5,5  | 1,22                                   |
| 6                              | 25   | 25,3                                   | 18,2                                       | 13,4                                   |

|     |     |      |      |      |
|-----|-----|------|------|------|
| 60  | 20  | 16,2 | 16,3 | 12,7 |
| 200 | 18  | 13,1 | 13,2 | 8,36 |
| 500 | 16  | 10,3 | 10,1 | 4,95 |
| Cu  | 5,2 | 1,09 | 3,7  | 0,55 |
| 6   | 25  | 25,3 | 19,0 | 14,6 |
| 60  | 16  | 10,3 | 9,1  | 3,35 |
| 270 | 10  | 4,05 | 7,6  | 2,34 |

Хүснэгтээс харвал, металл-фуллерентэй нимгэн хальсны термо-цахилгаан эффектив чадвар хагас дамжуулагч дээр үндэслэсэн бүтцийнхээс бараг нэг эрэмбээр их байв (тухайлбал, янз бүрийн хэмжээгээр чанаржуулсан SiGe, BiTe -ийн нимгэн хальс [24]). Энэ тохиолдолд хоёр янзын тайлбар өгч болно. Нэгдүгээрт, металл-фуллерены бүтцийн Фермийн түвшний орчмын төлөв байдлын нягт ихэссэнээс цахилгаан эсэргүүцэл багассан; хоёрдугаарт металл-фуллерены нимгэн хальсанд Видеман-Францын хуулийг хэрэглэхдээ дулаан дамжицын коэффициентыг багасгасан зэргээс болсон байж болох юм [25]. Хэдийгээр бага хэмжээний металл агуулсан металл-фуллерены нимгэн хальсаар үйлдсэн бүтцийн термо-цахилгааны коэффициент ба термо эффектив чадвар их боловч асар их дотоод эсэргүүцэлтэйгээс болж. Ийм элементийн гаргах чадал бага байдаг. Бидний судалсан нимгэн хальсаар үйлдсэн бүтцийг эсвэл термо-элементийг бага хэмжээний чадал шаарддаг багажуудыг тэжээхэд ашиглаж болно.

### **Титан фуллерены нимгэн хальсны бүтэц ба хувьсах гүйдэл дэх түүний цахилгаан шинж чанар**

Ti-C<sub>60</sub> нимгэн хальсны бүтэц ба мөхлөгүүдийн хэмжээг атомын хүчний микроскоп “Nanoscope IIIA” –аар тодорхойллоо. 13-р зурагт зарим нэгэн Ti-C<sub>60</sub> –ын нимгэн хальсны гадаргуугийн бүтцийн дүрсийг үзүүллээ.



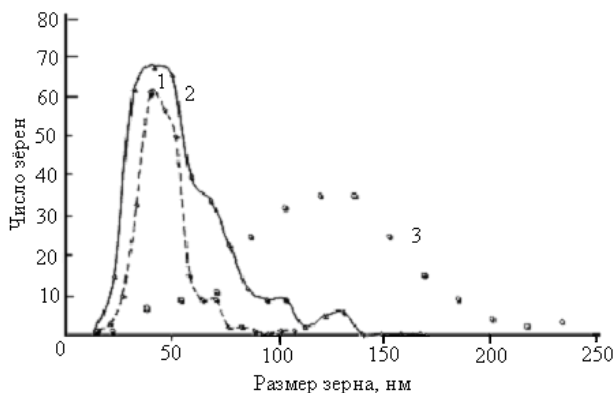
а)

б)

13-р зураг. АХМ-аар авсан Ti-C<sub>60</sub>-ын нимгэн хальсны гадаргуугийн дүрс:

а)  $n_{Ti}/n_{C60} = 30$ ; 2  $n_{Ti}/n_{C60} = 12$

14-р зураг мөхлөгийн хэмжээ ба түүний тархалтын статистикийг харууллаа.



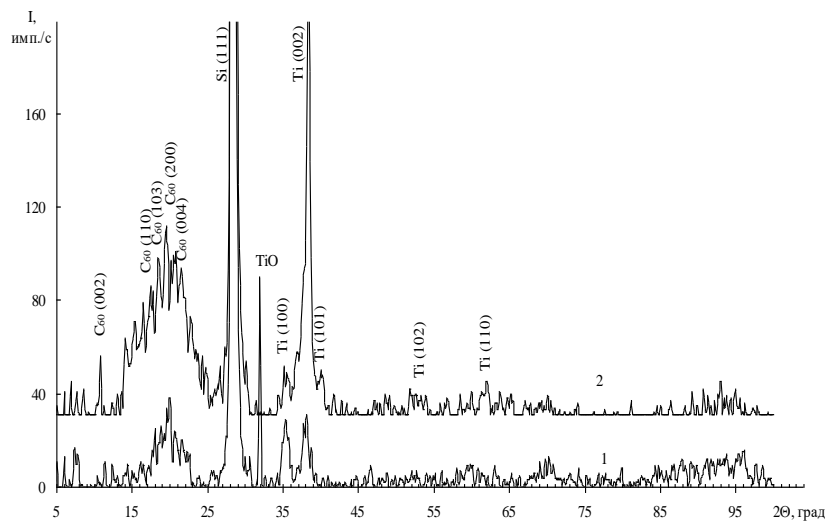
14-р зураг. Ti-C<sub>60</sub>-ын нимгэн хальсны мөхлөгүүд хэмжээгээрээ тархсан байдал.

1- $n_{Ti}/n_{C60} = 680$ ; 2 -  $n_{Ti}/n_{C60} = 60$ ; 3 -  $n_{Ti}/n_{C60} = 6$

Судалгааны үр дүнгээс харвал, мөхлөгийн хэмжээ компонентүүдийн бүрэлдэхүүний хувиас хамаарч байв. Титан ба фуллеритийн нэгэн төрөл бүтэцтэй нимгэн хальсны мөхлөгүүдийн хэмжээ титан ба фуллеритын хайлшны нимгэн хальсныхаас том байлаа. Нэгэн төрөл биш чанар нь ихсэх дутам нимгэн хальсны мөхлөгүүдийн хэмжээ багасч байв. Энэ нь эхлээд жижигхэн арал үүсч, цааш томорсоор цул нимгэн хальсны мөхлөгүүд болон өсөх процесстой холбоотой юм. Хөдлөх чадвар багатай C<sub>60</sub> -ын молекулууд металлын атомуудын кристаллжих төв болж өгдөг. Суурь бодис дээрх C<sub>60</sub> молекулууд цөөн байвал, кристаллжих төвийн тоо цөөрснөөс мөхлөгүүд өсч томрох бололцоо ихтэй болно. C<sub>60</sub> молекулын хувь ихэсвэл мөхлөгүүдийн хэмжээ багасна. Мөн суурь дээр хүрч ирэх металлын атомуудын тоо цөөрөхөд бас C<sub>60</sub> -ын хөдөлгөөнт чадвар багаас болж, мөхлөгүүдийн хэмжээ өсч болно. Ti-C<sub>60</sub> -

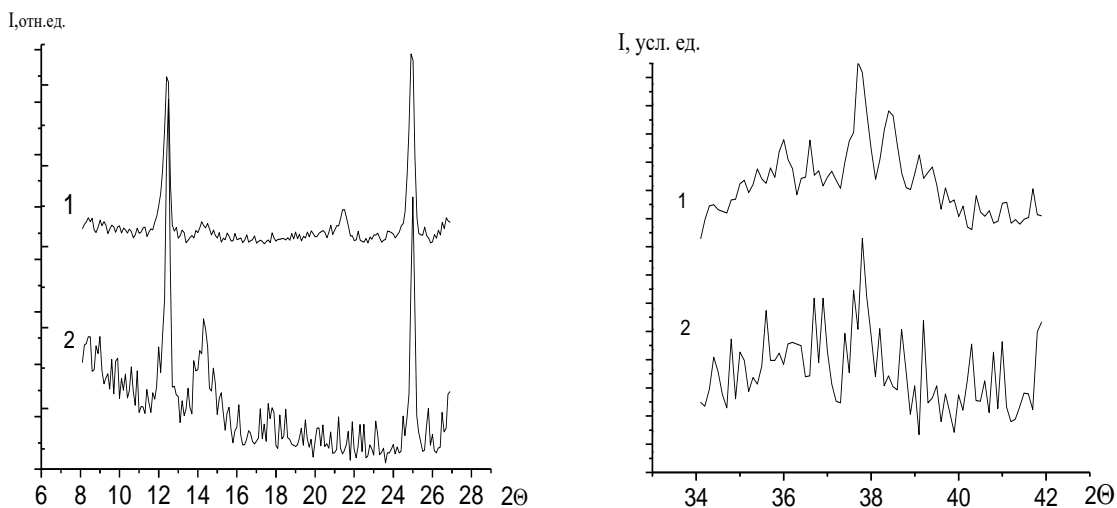


ын дотор шинэ фаз үүссэн эсэхийг тандахын тулд рентгенографийн судалгааг хийсэн. Учир нь  $\text{Cu-C}_{60}$  –ын системд [26]  $\text{Cu}_6\text{-C}_{60}$  хэмээх шинэ фаз үүсч байсан билээ.



15-р зураг.  $\text{Ti-C}_{60}$  –ын нимгэн хальсны рентгенограмм: 1 -  $n_{\text{Ti}}/n_{\text{C}_{60}}=6$ , 2 -  $n_{\text{Ti}}/n_{\text{C}_{60}}=12$

16-р зурагт титан ба титаныг  $\text{C}_{60}$  –тай хамт зэрэг конденсацлуулахад үүссэн нимгэн хальсны рентгенограммыг харууллаа.



16-р зураг.  $\text{Ti}$  (1) ба  $\text{Ti-C}_{60}$  ( $n_{\text{Ti}}/n_{\text{C}_{60}}=12$ ) (2) –ын нимгэн хальсны рентгенограмм.

а)  $2\theta = 8-27$  градус ; б)  $2\theta = 34 - 42$  градус

Хүснэгтэд  $n_{Ti}/n_{C60} = 6$  бүхий Ti-C<sub>60</sub> –ын нимгэн хальсны хавтгай хоорондын зай d/n ба эрчмийн харьцаа I/I<sub>1</sub> -ыг бичлээ. Жишихийн тулд мөн хүснэгтэд титаны оксид, титан ба фуллерен C<sub>60</sub> –ын хавтгай хоорондын зай d/n ба I/I<sub>1</sub> -ыг хавсаргалаа.

1-р хүнэгт

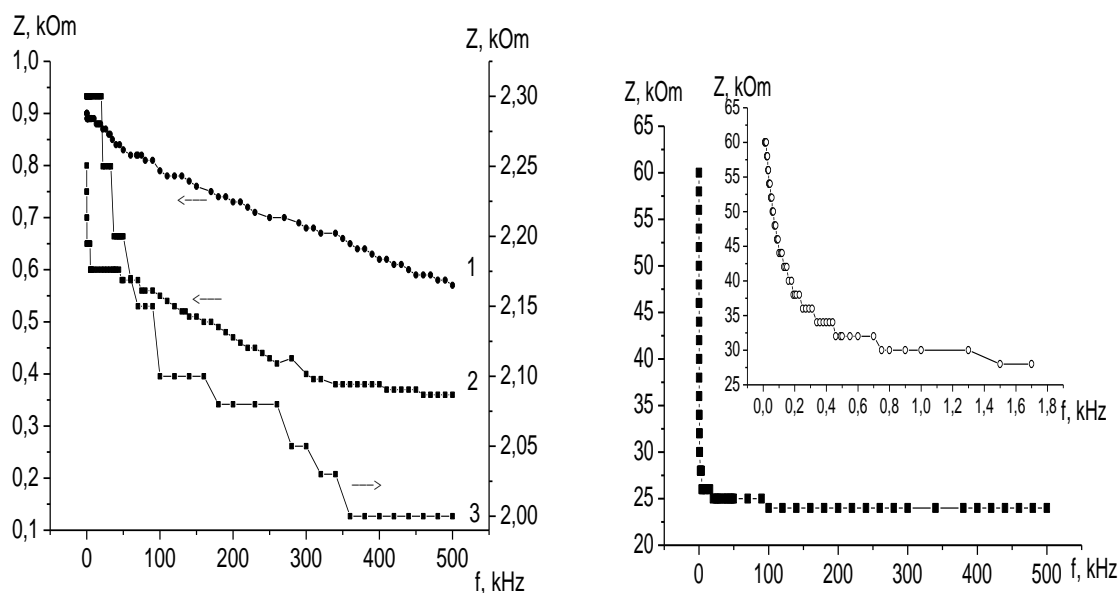
Нимгэн хальснуудын шугамуудын орчин ба хавтгай хоорондын зай (Ti, Ti+C<sub>60</sub>)

| Экспериментальные данные |                  |                    |                  | Литературные данные |                  |                                |                  |        |                  |                 |                  |
|--------------------------|------------------|--------------------|------------------|---------------------|------------------|--------------------------------|------------------|--------|------------------|-----------------|------------------|
| Ti                       |                  | Ti+C <sub>60</sub> |                  | TiO                 |                  | Ti <sub>3</sub> O <sub>5</sub> |                  | Ti     |                  | C <sub>60</sub> |                  |
| d/n, Å                   | I/I <sub>1</sub> | d/n, Å             | I/I <sub>1</sub> | d/n, Å              | I/I <sub>1</sub> | d/n, Å                         | I/I <sub>1</sub> | d/n, Å | I/I <sub>1</sub> | d/n, Å          | I/I <sub>1</sub> |
| -                        | -                | 7,4                | 37               | -                   | -                | -                              | -                | -      | -                | -               | -                |
| 7,19<br>6                | 89               | -                  | -                | 7,18                | 60               | -                              | -                | -      | -                | -               | -                |
| -                        | -                | 7,14               | 100              | -                   | -                | -                              | -                | -      | -                | 7,12            | 4                |
| -                        | -                | 6,86               | 24               | -                   | -                | -                              | -                | -      | -                | 6,85            | 3                |
| -                        | -                | 6,46               | 33               | -                   | -                | -                              | -                | -      | -                | -               | -                |
| -                        | -                | 5,01               | 21               | -                   | -                | -                              | -                | -      | -                | -               | -                |
| 4,23                     | 16               | -                  | -                | -                   | -                | 4,28                           | 30               | -      | -                | -               | -                |
| 4,17                     | 24               | -                  | -                | 4,13                | 30               | 4,13                           | 18               | -      | -                | -               | -                |
| 4,02                     | 14               | -                  | -                | -                   | -                | 4,00                           | 18               | -      | -                | -               | -                |
| 3,87                     | 12               | -                  | -                | -                   | -                | 3,83                           | 30               | -      | -                | -               | -                |
| 3,75                     | 14               | 3,65               | 19               | 3,75                | 20               | 3,77                           | 40               | -      | -                | -               | -                |
| 3,59                     | 100              | 3,58               | 75               | -                   | -                | 3,54                           | 100              | -      | -                | 3,54            | 4                |
| 3,49                     | 16               | 3,47               | 21               | -                   | -                | 3,44                           | 20               | -      | -                | -               | -                |
| 2,39                     | 44               | -                  | -                | 2,39                | 50               | 2,38                           | 40               | 2,56   | 30               | -               | -                |
| 2,35                     | 35               | -                  | -                | -                   | -                | -                              | -                | 2,34   | 20               | -               | -                |

Хүснэгтэд бичигдсэн үр дүнгээс харвал, нимгэн хальсны фазуудын бүрэлдэхүүнд титаны оксидууд TiO, Ti<sub>3</sub>O<sub>5</sub> орж байна. Хавтгай хоорондын зай d/n= 2,35 –д харгалзах ойлт байгаа нь бага зэргийн хэмжээний титан байгааг бас харуулж байна. Үүнээс гадна титаны оксидууд харгалзах хавтгай хоорондын зай бага зэрэг өөрчлөгдсөн

байна. Мөн рентгенограмм дээр  $d/n=7,4; 7,14; 6,86; 5,01 \text{ \AA}$  –тай тэнцүү хавтгайгаас ойход үүссэн диффракцын шинэ шугамууд буй болжээ.  $C_{60}$  –ын хавтгай хоорондын зай ба  $Ti + C_{60}$  нимгэн хальсны  $d/n$  –ын утгуудыг харьцуулан үзвэл,  $d/n=7,14, 6,86, 3,58$  утгууд  $C_{60}$  –ийн фуллеритэд харгалзах нь харагдана. Бидний олсон хавтгай хоорондын зайн утгууд  $TiO$  ба  $Ti_3O_5$  –ын  $d/n$  –ын утгуудаас бага зэрэг зөрж байгааг нь титан фуллерены нэгдэл үүссэнтэй холбоотой байж болох юм.

*Титан-фуллерены нимгэн хальсны хувьсах гүйдэл дэх цахилгаан шинж чанар*  
 Янз бүрийн хэмжээтэй  $Ti$  ба  $C_{60}$  –ыг агуулсан нимгэн хальсны бүтэн эсэргүүцлийг судаллаа ( $n_{Ti}/n_{C60}= 6 - 1000$ ). Төрөл бүрийн  $Ti/C_{60}$  –ын харьцаа бүхий хэд хэдэн дээжийн бүтэн цахилгаан эсэргүүцэл ба хувьсах гүйдлийн давтамж хоёрын хамаарлыг 17-р зурагт харууллаа.

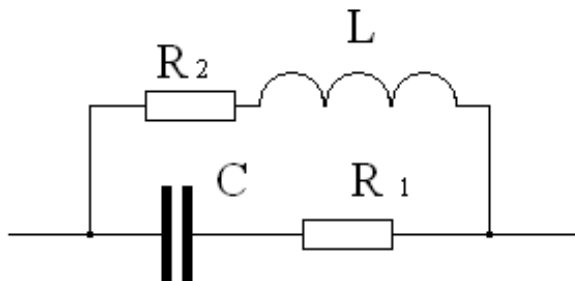


17-р зураг. Харилцан адилгүй  $Ti/C_{60}$  –ын концентрацийн харьцаа бүхий нимгэн хальсны бүтэн эсэргүүцлийн давтамжийн хамаарал. а - 1.-  $n_{Ti}/n_{C60}= 680$ , 2.-  $n_{Ti}/n_{C60}= 270$ , 3.-  $n_{Ti}/n_{C60}= 140$ , б -  $n_{Ti}/n_{C60}= 110$ .

Титаны нимгэн хальсан дах  $C_{60}$  молекулын концентрацийг ихэсгэхэд тогтмол гүйдэл дэх түүний хувийн эсэргүүцэл ихсэж байлаа [27]. Хувьсах гүйдэл дэх  $Ti-C_{60}$  нимгэн хальсны бүтэн эсэргүүцэл давтамж ихсэхэд монотонно буурахаас гадна фазын шилжилтийн өнцөг өөрчлөгдөж байв. Жишээлбэл,  $n_{Ti}/n_{C60}= 680$  байх  $Ti-C_{60}$  –ын

нимгэн хальсны бүтэн эсэргүүцэл 900 –аас 600 ohm хүртэл 1.5 дахин багасаж байхад (17-р зургийн а-ийн 1-д)  $n_{Ti}/n_{C60} = 270$  харьцаатай дээжийнх 800 –аас 400 ohm хүртэл 2 дахин багасаж байна (17-р зургийн а-ийн 2-т). Ингэхлээр нимгэн хальсны бүтэн эсэргүүцэл багтаамжийнхаас гадна индукцийн байгуулагчтай ажээ.

Ti-C<sub>60</sub> –ын нимгэн хальсны эквивалент цахилгаан хэлхээний загварыг 18-р зурагт дүрслэн үзүүлээ.



18-р зураг. Ti-C<sub>60</sub> –ын нимгэн хальсны бүтцийг тусгасан эквивалент цахилгаан хэлхээний хэсэг.

Туршлагаар хэмжиж олсон янз бүрийн  $n_{Ti}/n_{C60}$  –ын харьцаа бүхий дээжүүдийн бүтэн эсэргүүцлийн утгуудыг ашиглан тэдгээрт харгалзах эквивалент цахилгаан хэлхээний онолоор тооцон олсон параметрууд  $R_1, R_2, C, L$  –ийн утгуудыг 2-р хүснэгтэд бичлээ.

2-р хүснэгт

Янз бүрийн  $n_{Ti}/n_{C60}$  –ын харьцаа бүхий нимгэн хальсны онолоор тооцон олсон эквивалент хэлхээний параметрийн утгууд.

| $n_{Ti}/n_{C60}$ | $R_1,$<br>кОм | $R_2,$<br>кОм | $C \cdot 10^9,$<br>ф | $L \cdot 10^4$<br>Гн |
|------------------|---------------|---------------|----------------------|----------------------|
| 12               | 891           | 76            | 0,6                  | -                    |
| 25               | 648           | 180           | 2,4                  | 0,28                 |
| 30               | 125           | 12            | 4,8                  | 1,1                  |
| 45               | 194           | 37            | 6,0                  | 1,4                  |
| 110              | 46            | 67            | 8,0                  | 1,9                  |
| 140              | 15,6          | 2,35          | 6,0                  | 0,9                  |
| 270              | 5,8           | 0,88          | 3,4                  | -                    |

|      |     |      |     |   |
|------|-----|------|-----|---|
| 680  | 4,2 | 0,64 | 2,0 | - |
| 1000 | 3.2 | 0,56 | -   | - |

Хүснэгтэд цуглуулсан үр дүнгээс үзвэл, Ti-C<sub>60</sub> –ын нимгэн хальсны бүтэн эсэргүүцэл багтаамжийн ба индукцийн байгуулагчтай байх ажээ. Бага ( $n_{Ti}/n_{C60}=12$  хүртэл) ба их ( $n_{Ti}/n_{C60}=900$ ) хэмжээний металлын хувийг агуулсан дээжүүдийн цахилгаан эсэргүүцлийн реактив байгуулагч бидний туршилт явуулсан давтамжийн мужид илрэхгүй байв. Мөн дээр дурьдсан туршлагын үр дүн, нимгэн хальсны бүрэлдэхүүнд орсон металл ба диэлектрикийн хувь хэмжээний харьцаанаас болж давтамжийн механизм өөрчлөгдөхийг харуулна. Жишээлбэл, бага хэмжээний металл агуулсан дээжүүд яг хагас дамжуулагч шиг дамжицтай (металлын атомоор чанаржсан диэлектрик). Металлын хувь ихсэхэд шигтгэсэн диэлектрик бүхий металл дамжицтай сувгаар дунд зэрэг байхад ( $n_{Ti}/n_{C60}=25-140$ ) R-C-L эквивалент загвар бүхий хэлхээ ажиллаж эхлэнэ.

### **Металл ба фуллерен дээр үндэслэгдсэн шинэ композиц материалууд**

Металл ба нүүрстөрөгчийн нано-бөөмс агуулсан композиц материалуудыг фуллерен ба нано-хоолой гарган авдаг байгууламжийг хэрэглэн  $(13-65) \cdot 10^3$  Па даралттай гелийн орчинд цахилгаан нумын тусламжтай гаргаж авна [12]. Фуллеренүүдийг цахилгаан нумыг бага даралттай гелийн орчинд асаан үйлдвэрлэх процессын үед анод ба катодын аль аль нь графит байна. Цахилгаан нум асаж, ниргэлээ явах процесст, анод эрчимтэй задрахын хамт үүссэн нано-бөөмсүүд хөрч байгаа катодын гадаргуу дээр тунадас хэлбэртэй суух ба тэдгээрийн дотор графит, фуллеренүүд, нүүрстөрөгчийн ультра дисперслэгдсэн агрегатууд байна. “Депозит” хэмээн нэрлэгдэх катод дээр үүсэх тунадас нь хувьсах нягттай нүхлэг бүтэцтэй мөөг хэлбэр бүхий бүтээгдэхүүн байдаг. Металл ба нүүрстөрөгчийн нано-бөөмс агуулсан композиц материалыг гаргах процесст электродын материал ба нум асаах технологийн нөхцөлийг үргэлж өөрчилж байлаа. Жишээлбэл, урвал явуулах камерын доторх гелийн даралт, электродын хоорондох зай, нумын гүйдлийн утга, тунадас үүсгэх дулааны горим, материалаа хөргөх нөхцөл гэх мэт болой.

Гелийн даралтыг өөрчилснөөс синтезлэн гаргаж байгаа фуллеренүүд, нүүрстөрөгчийн нано-хоолойнууд ба нүүрстөрөгчийн ультра дисперслэсэн

агрегатуудын тоон харьцаа бас өөрчлөгдөнө. Учир нь гелийн молекулууд графитыг задлахад үүссэн элементүүдтэй мөргөлдөхөд тэдгээрийн энерги ба чөлөөт замын урт өөрчлөгдөж, тодорхой нэг даралтад аль нэг бүтээгдэхүүн үйлдвэрлэх таатай нөхцөл бүрэлдэнэ. Гүйдлийг ихэсгэхэд катод дээр кратер (хонхор) үүсэж, захаар хайлж эхлэх ба гадаргуу дээр нь хайлсан металлын дуслууд үүснэ. Харин гүйдлийг багасгавал нум тогтвортой асахаа болино. Бусад нөхцөлийг нь хэвээр байлгаад электродуудын хоорондох зайг өөрчилбөл, бөөмсийн урсгалын нягт, тэдгээрийн катодтой мөргөлдөх энерги өөрчлөгдөнө. Катодын температур металл-нүүрстөрөгчийн нано-бөөмсөөс тогтох композиц материалын бүтцэд нөлөөлнө. Учир нь температур, конденсацлах үеийн диффузийн процесс ба конденсацалсны дараах үенүүд эмхрэн тогтворжиход нөлөөлнө.

Тунадасжих хугацаа үүсэх композиц материалын зузааныг тодорхойлохын хамт гүйдэл, температур гэх мэтийн конденсацлах ба нуман ниргэлгээ явагдах горимд нөлөөлнө. Янз бүрийн горимыг хэрэглэн, гаргаж авсан композиц материалын шинж чанар ба бүтцийг судалснаараа металлтай адил цахилгаан сайн дамжуулдаг нэгэн төрөл, нягт композиц материал гарган авна. Ийм композиц материалын бүх шинж чанарыг мэдсэнээрээ эмнэлэгт хэрэглэдэг функционал хучлагын материалыг эдгээрийн дотроос сонгон олох бололцоог бүрдүүлнэ [23]. Ингэхлээр цахилгаан нумын аргаар хатуулаг сайтай металл шиг цахилгаан сайн дамжуулдаг металл ба нүүрстөрөгчийн нано-бөөмсөөс тогтсон хайлшийг гарган авч болох ажээ. Мөн вакуумд металл ба фуллерены хамт ууршуулах ба янз бүрийн суурь бодис дээр конденсацлуулах аргаар металл-фуллерены композиц материалыг гарган авна. Металлын атом ба фуллерен  $C_{60}$ -ийн молекулуудын тоон харьцаа тодорхой байх зарим тохиолдолд цахилгаан дамжиц сайтай металлын хэсгүүдээс тогтох үенүүд нь хагас дамжуулах чанартай нано-бөөмсийн их биш завсраар тусгаарлагдсан металл фуллерены нимгэн хальсыг гарган авч болдог. Ийм бүтцийг цахилгаан дамжицын үүднээс авч үзвэл өөр хоорондоо холбогдсон бүл конденсаторууд мэт авч үзэж болно. Тэгвэл энэ системийн бүтэн эсэргүүцэл хувьсах гүйдлийн давтамж ихсэхэд багасах ажээ [24-25].

## Цахилгаан нумын ниргэлгээ хэрэглэн гарган авсан металл фуллерены материалууд

Үндсэн зарчим: 1) сонгон авсан металл анод ба металл, фуллерены хайлшийн конденсацлах суурь бодисын үүрэг гүйцэтгэнэ; 2) цахилгаан нумын ниргэлгээ явуулах инертийн хийтэй орчин үүсгэнэ; 3) шаардлагатай горимыг сонгон олно.

Судалсан материалууд: Fe-C<sub>60</sub>, Cu-C<sub>60</sub>, Ti-C<sub>60</sub> Нано бөөмсийг гарган авах ба тэдгээрийг металл, полимер, керамик (ваар) сууринд нэвтрүүлэх процесс тус тусдаа явагдах ёстой. Бидний судалгаанд эдгээр процессыг хамт явуулсан болно.

3-р хүснэгтэд янз бүрийн горимыг хэрэглэн гарган авсан хайлшуудын шинж чанарыг сийрүүлэн бичлээ.

Цахилгаан нумын ниргэлгээ явуулах аргаар  
гарган авсан хайлшийн шинж чанар

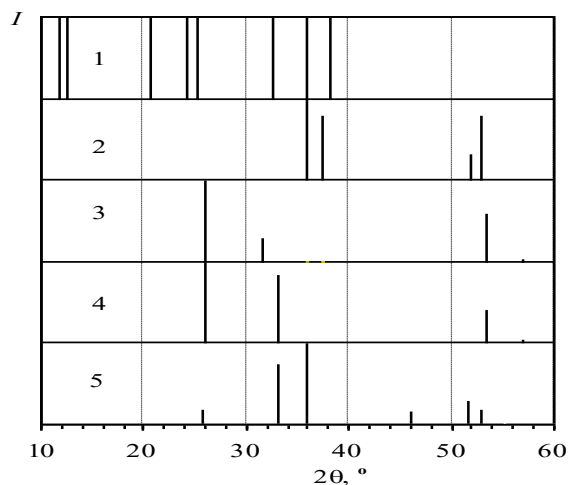
*3-р хүснэгт*

| Шинж чанар  | 1    | 2    | 3    |
|---|------|------|------|
| Нягт, г.см <sup>-3</sup>                                | 2.3  | 1.9  | 2.4  |
| Хувийн эсэргүүцэл, 10 <sup>-4</sup> ом.см <sup>-1</sup> | 6.2  | 8.8  | 2.4  |
| Микро хатуулаг  | 6.9  | 6.2  | 8.2  |
| Үрэлтийн коэффициент                                    | 0.22 | 0.27 | 0.20 |
| Юнгын модуль, ГПа                                       | 68   | 76   | 96   |

Жич: 1-нуман ниргэлгээний гүйдэл 30А, p=1800 topp; 2-30А, 450 topp; 3-40А, 150 topp

Металлыг фуллеренээр чанаржуулснаар материалын механик шинж чанарыг сайжруулдаг. Судалгаанаас үзэхэд металлын дотор фуллерен оруулснаар уг композиц материалын бат бэх чанарыг мэдэгдэхүйц ихэсгэж, үрэлтийн коэффициентыг багасган цахилгаан оптик бусад шинж төрхийг өөрчлөхөд хүргэдэг. Cu-C<sub>60</sub> ба Sn-C<sub>60</sub> системийн хувьд фуллерен C<sub>60</sub> молекул ба металлын атомын тоон харьцаа тодорхой утгад хүрэхэд металл-фуллерены диффрактограмм дээр фуллерид ба металлын аль алинд хамаарахгүй рефлексүүд гарч ирдэг. 19-р зурагт фуллерит, цагаан тугалга ба тэдгээрийн шулуун шугамаар дүрсэлсэн рентгенограммыг үзүүллээ. Энэ рентгенограмм бидний дээр дурдсаныг баталж

байна. Зэсийн атом ба цагаан тугалганы атом нүүрстөрөгчийн атом ба молекултой химийн харилцан үйлчлэлд шууд ордоггүйгээс гадна нүүрстөрөгчийн атомууд зэс ба цагаан тугалганы кристалл торд орж хатуу уусмалыг үүсгэхгүй. Ийм баримт одоо болтол шинжлэх ухаанд мэдэгдээгүй ажээ [26]. Гэтэл металлын атомууд цэвэр нүүрстөрөгчөөс тогтох фуллерентэй нэгдэж эндо ба экзофуллеридыг үүсгэж байна. Энэ бол маш сонирхолтой баримт юм аа.



19-р зураг. Фуллерит, цагаан тугалга ба тэдгээрийн хайлшийн шулуунаар илэрхийлсэн штрихийн ренгенограмм. 1- $C_{60}$ ; 2-Sn;

Ингэхлээр фуллеренууд ба металлыг вакуумд ууршуулах аргаар нүүрстөрөгчийн нано-бөөмсөөр металлыг чанаржуулж урьд өмнө байгаагүй онцгой шинж чанартай композиц материалыг гарган авч био-эмнэлэг, оптоэлектроник, багаж хэрэгслийн үйлдвэр, аж ахуйн бусад салбар өргөн хэрэглэх хэт ирээдүй нээгдэж байна.

### **Хамтатгасан атом-молекулын багцын урсгалыг хэрэглэн металл-фуллерены материал гаргах**

Үндсэн зарчим: 1) Хоёр эх үүсвэрээс ууршуулах, 2) суурь бодис дээр нэгэн зэрэг конденсацлуулах.

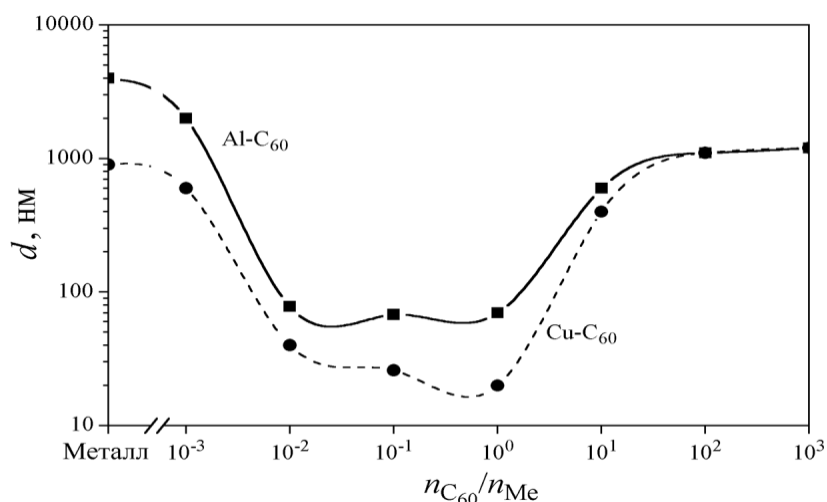
Судалсан материалууд: Au- $C_{60}$ , Ag- $C_{60}$ , Cu- $C_{60}$ , Al- $C_{60}$ , Sn- $C_{60}$ , Ti- $C_{60}$ , Ga- $C_{60}$ , In- $C_{60}$ , Fe- $C_{60}$ , Ni- $C_{60}$  гэх мэт.

Хамтатгасан атом-молекулын багцын урсгалыг хэрэглэн вакуумд металл-фуллерены композиц материалыг гаргах туршилтыг гурван үе шаттай явуулна: 1)



анхдагч бодисоо задлах, 2) оролцох компонентуудаа суурь бодист хүргэх, 3) суурь бодис дээр нимгэн бүтцийг бүрдүүлэх гэх мэт.

Фуллерен 700К температурт ууршина, ихэнх металл 1200К хүрч байж сая уурших тул хамтатгасан атом-молекулын багцын урсгалыг хоёр ууршуулагч хэрэглэн гаргана. Нимгэн хальсанд шаардлагатай хэмжээний фуллерены концентрацыг буй болгохын тулд түүнд хүрч ирэх фуллерен ба металлын урсгалын хурдны харьцааг тохируулан сонгон авна. Металлын атом ба фуллерены молекулуудын урсгалын нягтыг тодорхойлохдоо, туршлагаар байгуулсан фуллерен ба металлын уурших хурд ба температурын хамаарлыг илэрхийлсэн номограммыг ашиглана. Туршлагын үр дүнгээс үзвэл, металл дахь фуллерен  $C_{60}$  молекулын концентрацыг бага зэрэг нэмэгдүүлэхэд хайлшийн бүтцийн элементүүд нь нано хэмжээтэй болтлоо багасдаг байна. Энэ чанарыг ашиглан нано-бүтэцтэй урьд өмнө байгаагүй содон шинжтэй материалуудыг гарган авна. 20-р зурагт металлд хольж байгаа фуллерены хувь ихсэхэд металл-фуллерены материалын мөхлөгийн хэмжээ багасаж улам их гетероген бүтэцтэй болохыг харуулж байна.



20-р зураг. Металл-фуллерены материалын мөхлөгийн дундаж хэмжээ,  $C_{60}$  молекул ба металлын атомын тооноос хамаарах зүй тогтол.

### Металл-фуллерены материалыг гальванкийн аргаар гарган авах

Үндсэн зарчим: 1) тохирох электродыг сонгон авах, 2) фуллерены уусмалыг электролитод холино, 3) ультра дууг хэрэглэн  $C_{60}$ -ийн уусмалтай электролитыг дисперслэгдсэн төлөвт оруулна, 4) шаардлагатай горимыг сонгон олно гэх мэт болно.

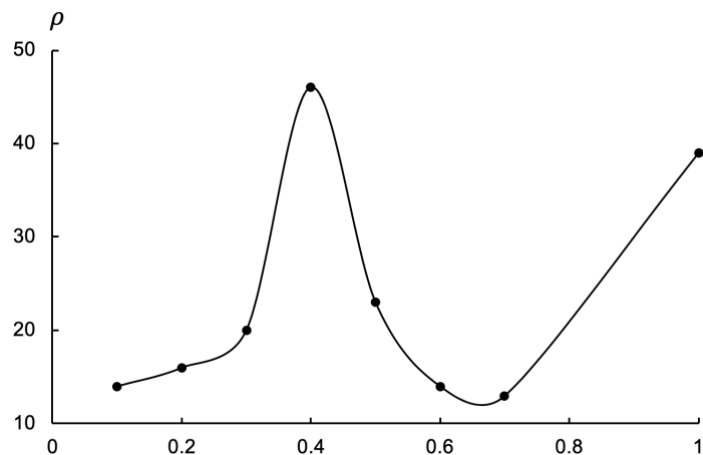
Судалсан материалууд: 1) Cu-C<sub>60</sub>, 2) Ni-C<sub>60</sub>, электро-химийн аргаар тунадасжуулах туршилтыг хэд хэдэн электролит хэрэглэн явууллаа (зэсдэх, никелдэх, цагаан тугалагдах). Туршилтад нөлөөлөх, гүйдлийн нягт, электролит дэх фуллерены концентрац гэх зэргийг үргэлж өөрчлөн тохируулж байхын зэрэгцээгээр процессыг хурдасгах зорилгоор лазерын туяагаар шарж байлаа.

Фуллерен агуулсан нунтгийг электролитод шууд хийх буюу эсвэл түүний бензолд ууссан уусмалыг нэмж байв. Гүйдлийн нягт ба хугацааг өөрчлөх замаар адилхан зузаантай нимгэн хальсыг гарган авч чадсан. Электро-химийн аргаар хучлага тавихын өмнө дээжийнхээ гадаргууг ацетон ба спиртээр цэвэрлэж тосыг нь арилгах хэрэгтэй. Суурь бодисыг яг тэгшхэн байлгаж байгаад электролитын гадаргаас доош 5 мм гүнд живүүллээ. Лазерын туяагаар шарахдаа суурь бодисын гадаргуу дээр 1 мм диаметртэй болтлоо нарийсан туяаг фокуслож түүний гадаргуу дээгүүр 1 мм/с-ийн хурдтай битүү траектороор гүйлгэсээр байгаад 1,5 см<sup>2</sup> талбайтай дээжийг гүйцэд шарж дуусгав.

Урьдчилан вакуумд тунадасжуулах аргаар шилэн суурь дээр 0,1 мкм зузаантай үл зэврэх гангийн нимгэн үеийг суулгаж, түүн дээрээ электро-химийн аргаар 10 мкм зузаантай Ni, Ni-C<sub>60</sub>, Sn ба Sn-C<sub>60</sub>-ийн нимгэн үеийг үүсгэж тэдгээрийн шинж чанарыг судалсан болно.

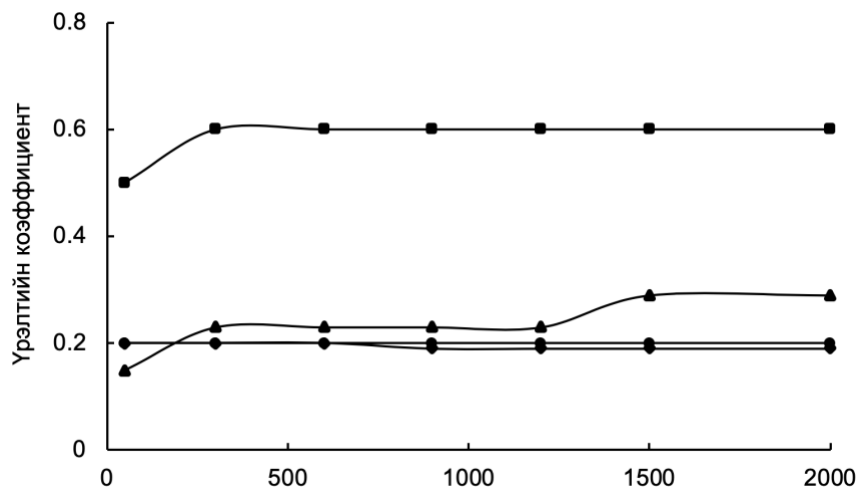
Цахилгаан химийн аргаар тунадасжуулсан, металл ба нүүрстөрөгчийн нано бөөмсөөс тогтох композиц гальваник хучлагыг гарган авахын тулд юуны өмнө электролитоо бэлдэнэ. Дараа нь туршилтад оролцох бүх зүйлсээ шүлтийн уусмалд хийж цэвэрлэнэ. Ингэж цэвэрлээд дахин тэр уусмалдаа хийж цахилгаан химийн аргаар тосыг нь арилгана. Үүний дараа суурь бодисынхоо гадаргууг хүчтэй хүчлийн уусмалаар идүүлж бүдэг болгох буюу эсвэл гялалзуулна. Ингэж боловсруулсан суурь бодисоо сулавтар хүчлийн уусмалд дүрж идэвхжүүлнэ. Энэ бүх үйлдлийг хийж дуусгасны эцэст электролит дотор живүүлж гальваник хучилт тавина.

Композиц хучлагын хувийн эсэргүүцэл, гүйдлийн нягтаас хучилт явагдаж байхад шугаман биш хамааралтай (21-р зураг).



21-р зураг. Ni-C<sub>60</sub> хучлагын хувийн эсэргүүцэл хучилт явагдах гүйдлийн нягтаас шугаман биш хамааралтай.

Гальваник аргаар гарган авсан металл фуллерены хайлшийн цахилгаан дамжуулалт өндөр атлаа, үрэлтийн коэффициент багатай. Ni-C<sub>60</sub>-аар үйлдсэн хучлагын хувийн цахилгаан эсэргүүцлийн энэ хамаарал ультра дуугаар үйлчлэх үед үүссэн фуллерены уусмалын нано-дуслын дрейфын хурд, тунадасжих гүйдлийн нягтаас хамаардагтай холбоотой юм. Электролитын аргаар гарган авсан Ni-C<sub>60</sub> хайлшийн үрэлтийн коэффициент нь мөн ийм аргаар гарган авсан цэвэр никел хучлагынхаас 2.5-3.0 дахин байв. 22-р зурагт цэвэр никел ба никел-фуллерены хайлшийн хуурай үрэлтийн коэффициент туршилт явуулсан тоо буюу циклээс хэрхэн хамаарахыг харуулжээ.



22-р зураг. Хуурай үрэлтийн коэффициент ба туршилт явуулах циклийн хамаарал: 1-Ni, 2, 3, 4-Ni-C<sub>60</sub> ( $C_{\text{фул}}=0,1$  г/л;  $T=50^{\circ}\text{C}$   
 $T_{\text{дундаж}}=5\text{A}/\text{дм}^2$ )

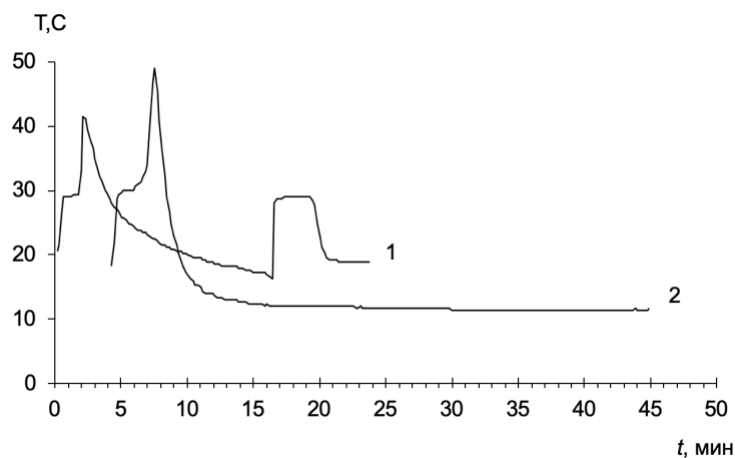
## Металл-фуллерены материалыг гаргах металлургийн арга

Үндсэн зарчим: 1) хайлсан металлд  $C_{60}$ -ийн фуллеритийг холино; 2)  $Me-C_{60}$ -ийн хольцыг ультра дуугаар дисперслэнэ; 3) шаардагдах хөргөх горимыг сонгон авна; 4) хөргөлт явуулна.

Судалсан материалууд:  $Ga-C_{60}$ ,  $In-C_{60}$ ,  $Al-C_{60}$ ,  $Al-Cu+1\%C_{60}$  гэх мэт.

Композиц материалыг металлургийн аргаар гаргахдаа хайлсан фуллерен ба нано-хоолойн коллоид уусмалыг хайлсан металл дээр нэмж ультра дуугаар хайлмагаа тасралтгүй эрчимтэй хутган хольж байна [27].

Нүүрстөрөгчийн нано-бөөмсийн металлын хайлмаг дээр нэмснээс тэдгээрийн кристаллжих процесс нэлээд хэт хөрсний дараа сая эхэлнэ. Массынхаа 1% -тай тэнцүү хэмжээний фуллерен агуулсан (эсвэл нүүрстөрөгчийн нано-хоолой) металлын хайлмаг нэлээд удаан хугацааны турш шингэн төлөвтэй байж чадна. 23-р зурагт фуллерен  $C_{60}$ -ийн молекулуудыг агуулсан галлийн халаах ба хөргөх диаграммыг үзүүлээ.



23-р зураг. Массынхаа 1%-тай тэнцүү хэмжээний  $C_{60}$  агуулсан галлийн халаах (1) ба хөрөх (2) температурын өөрчлөлт

Энэ аргын сайн тал нь гарц сайтайгаас гадна дурын хэлбэр дүрстэй бүтээгдэхүүн гарган авч болно. Дутагдалтай тал нь материал нэгэн төрөл болж чадахгүй.

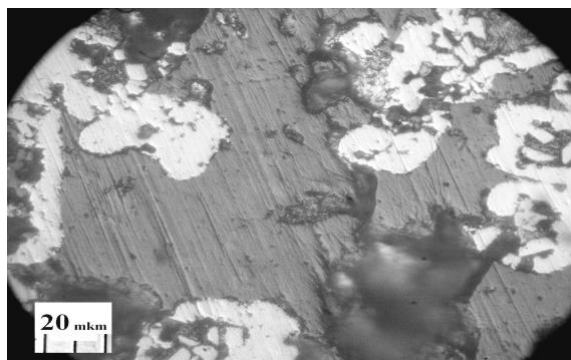
## Нунтаг металлургийн аргаар металл-фуллерены материалыг гарган авах

Үндсэн зарчим: 1) металл ба фуллеритын нунтгийг маш сайн холино; 2) нунтгуудын хольцыг шахаж хэлбэр олгох саванд хийнэ; 3) шаардлагатай даралт ба

температурын горимыг сонгон авна; 4) сонгон авсан горимдоо шахаж хэлбэр олгосон дээжээ  $t$  хугацааны турш байлгана; 5) даралтыг бууруулж хөргөлт явуулна.

Судалсан материал: Fe-C<sub>60</sub>, Al-C<sub>60</sub> гэх мэт металл-фуллерены дээжийг төмрийн карбониль ба массынхаа 5-7% хүртэл фуллерен агуулсан хөөний холимог хоёрыг хольж бэлтгэнэ. Шахаж бэлдсэн дээжээ дахин ДО137А шахуургад хийж, 1800К температурт 6ГПа даралтад 120<sup>0</sup>С -ын температурт шахаж улам сайн барьцалдуулна.

Металлографикийн анализ хийж үзэхэд янз бүрийн хэмжээний нүүрстөрөгчийг агуулсан гурван фаз үүссэн байв [28]. 24-р зурагт төмөр-фуллерены хайлшийн өнгөлсөн гадаргуугийн зургийг үзүүлээ. Эдгээрийн нэг фазын (18-р зураг дээр хар өнгөтэй харагдаж байгаа) микро хатуулаг асар өндөр байв (5,8-6,7 ГПа).



24-р зураг. Төмөр фуллерены хайлшийн бүтэц

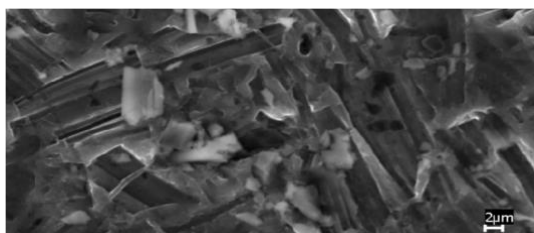
### **Цохих долгионы динамик ачааллын аргаар металл-фуллерены материалыг гарган авах**

Үндсэн зарчим: 1) Металл ба фуллеритийн нунтгийг сайн холино; 2) холимог нунтгийг шахаж хэлбэр олгох тусгай саванд хийнэ; 3) шаардлагатай даралт ба температурын горимыг сонгон авна; 4) сонгон авсан горимд дээжийг  $t$  хугацааны турш байлгана; 5) даралтыг огцом бууруулж хөргөнө гэх мэт.

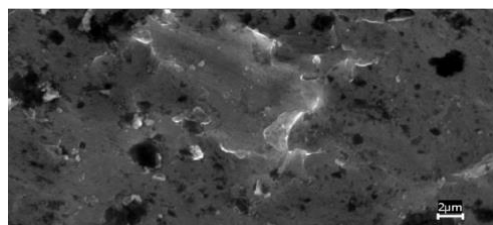
Судалсан материалууд: Fe-C<sub>60</sub>, Al-C<sub>60</sub> гэх мэт Зэс ба хөнгөн цагааны нимгэн үеүд ээлжлэн байрласан хоёр нимгэн хавтсны хооронд Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ба C<sub>60</sub>-ийн холимог нунтгийг хийж хоёр талаас нь өндөр даралтаар шахна. Уул завсар хооронд хүчтэй цохилтын долгио үүсгэхэд холимог байгаа нимгэн үе дотор дэлбэрэлт болж C<sub>60</sub> ба Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> нунтгууд ууршин ойролцоогоор 70 нм диаметртэй Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-ын, 0,71 нм диаметртэй C<sub>60</sub>-

ийн нано-бөөмсүүд буй болно. Их кинетик энергитэй эдгээр бөөмсүүд металлын нимгэн хальс уруу нэвчин орно.

Дээжүүдээ цохилтын долгионы импульсээр хэд хэдэн удаа буудуулсны дараа металлын нимгэн хальс ба дэлбэрэлтийн даралтын үйлчлэлээр холимог дотор үүссэн бүтээгдэхүүнийг анализ хийж үзлээ. Хөнгөн цагааны нимгэн хальсны гадаргуу дээр сонирхолтой бүтэц үүссэн байв (25-р зураг). Хөнгөн цагааны гадаргуу дээр өөрийнхөө бүтэц ба хэмжээгээр хоёр хавтсны хооронд хавчигдсан холимогос үүссэн хатуу фазтай адилхан гүдгэр хонхрууд гарсан байв. Энд 2-3 мкм хэмжээтэй фуллеритийн нунтгийн хэмжээний нүх харагдаж байв (25-р зураг, а). Металл нимгэн хальсны нөгөө талд түүгээр нэвтрэн гарсан бөөмс мөрөө үлдээсэн нь ажиглагдана (25-р зураг, б).



а



б

*25-р зураг. ДЭМС (дэлгэх электрон микроскоп)-ын хэрэглэн хөнгөн цагааны нимгэн хальсны гадаргаас авсан зураг. а) нано-нунтагтай нийлж байсан гадаргаас; б) ар талаас;*

Ингэхлээр импульсийн цохилтын долгионоор нүүрстөрөгчийн нано-бөөмсийг металлын гадаргуу руу нэвчин оруулж болох ажээ. Металл-фуллерены нимгэн хальсны хувийн цахилгаан эсэргүүцэл металл ба фуллеритийн хувийн эсэргүүцлийн хоорондох утгатай байлаа.

$C_{60}$  молекулууд өөр хоорондоо буюу металлын атомтай харилцан үйлчилж эмхэрсэн бүтэц үүсгэх боломжтой. Хэрэв шинэ фаз үүсвэл нано-бөөмсийн концентрац ба хувийн эсэргүүцлийн хамааралд өөрчлөлт орно.

## Дүгнэлт:

1. Полистрол, полипропилены ба полиэтилен (өндөр даралтын) гэх мэтийн полимерт хольсон фуллерены концентрац 0,5% -иас хэтрэхгүй байвал фуллеренүүд полимерийн молекуляр гинжтэй харилцан үйлчилж суурь бодисын бүтцийг эмхлэхэд оролцоно. Фуллерен C<sub>60</sub> -ын концентрацыг нэлээд ихэсгэвэл тэдгээр нь бөөгнөрч фуллеритын кластерийг үүсгэх ба кластерийн хэмжээ концентрац эсэхэд томорно. Ингэхлээр бүтэц бүрэлдэн тогтох процесс дараах байдалтай явагдана. Концентрац бага байхад (0.5% -иас бага полимерийн суурь бодисын бүтэц эмхрэн сайжрах ба фуллеритын кластерууд үүсэж томроход эмх замбараа алдагдаж эхэлнэ.
2. Мөнгөний арллаг жижиг бүтэц бүхий полипропилены спектрт плазмын резонансын залгилттай холбоотой залгилтын зурвас гарч ирнэ. Композитын бүтэц фуллерены орж ирснээс болж богино долгионы муж дахь залгилтын зурвас өргөсөхөөс гадна залгилтын хэмжээ ихэснэ. Нано бүтцийн дотор фуллеренүүд орсноос металлын нано бөөмсүүдийн хоорондох хамтын электродинамик харилцан үйлчлэл сулрана.
3. Янз бүрийн хэмжээний  $n_{Me}/n_{C60}$  агуулсан харилцан адилгүй зузаантай Ti-C<sub>60</sub> ба Cu-C<sub>60</sub> системийн цахилгаан ба термо-цахилгаан шинж чанарыг хувийн эсэргүүцэл  $\rho$ , термо-цахилгааны эффектив чадвараас хамааран судлахад эдгээр хэмжигдэхүүнд концентрацийн үзүүлэх нөлөө зузааны үзүүлэх нөлөөнөөс хүчтэй байв.
4. Нимгэн хальсны доторх хувийг багасгахад термо ЦХХ ба термо-цахилгаан эффектив чадвар хэд дахин өсөхөд, хувийн эсэргүүцэл хэдэн эрэмбээр өсч байлаа. Фуллеренээр чанаржсан нимгэн хальсыг агуулсан бүтцийн термо-эффектив чадвар хагас дамжуулагчийг агуулсан бүтцийнхээс хэдэн эрэмбээр илүү байв.
5. Титан ба C<sub>60</sub> –ыг нэгэн зэрэг конденсацлахад үүссэн Ti-C<sub>60</sub> –ын нимгэн хальсны рентгенограмм дээр гарсан  $d/n = 7.4, 7.14, 6.86, 5.01 \text{ \AA}$  атомуудын

хавтгайнуудаас ойход гарсан шинэ диффракцийн шугамууд титаны атом ба фуллерен хоёрын шинэ нэгдэлтэй холбоотой байж болох юм. Ti-C<sub>60</sub>–ын композиц нимгэн хальс түүний бүрэлдэхүүнд орсон компонентуудын хувь хэмжээний тодорхой интервалд R-C-L хэлхээний шинжтэй байна.

6. Металл-фуллерены композиц материалын физик ба физик-химийн шинж чанар түүн дотор нано-бөөмсийн хувь (массын 1% хүртэл) өчүүхэн байхад асар их хязгаарын дотор өөрчлөгдөх боломжтой байдаг (заримдаа хэд дахин).



## АШИГЛАСАН МАТЕРИАЛ

1. Vityaz P.A., Shpilevsky E.M. Fullerenes in matrices of different substances // Journal of Engineering Physics and Thermophysics. 2012, Volume 85, Issue 4, Page 780-78.
2. Шпилевский Э.М., Горох Г.Г., Шпилевский М. Э Функциональные покрытия, содержащие фуллерены // Высокие технологии в промышленности России. Наноинженерия. МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2014, С. 82-90.
3. Shpilevsky E. M., Shpilevsky E. M., Prylutsky Y. I., Matzuy L. Y., Zakharenko M. I., Le Normand F. Structure and properties of C<sub>60</sub> fullerene films with titanium atoms // Mat-wiss. u. Werkstofftech. 2011. Vol. 42, No. 1. P. 59-63.
4. Шпилевский Э.М. Физические свойства металл- фуллереновых пленок // Тонкие пленки в оптике и наноэлектронике. Харьков: ООО Контраст, 2006, С. 181-184.
5. Shpilevsky E. M., Zhdanok S. A., and Schur D. V. Containing carbon nanoparticles materials in hydrogen energy: in Hydrogen Carbon Nanomaterials in Clean Energy Hydrogen Systems-II. Dordrecht: Springer Sci., 2011. Pp. 23–39.
6. Langa F. and Nierengarten J.-F. Fullerenes Principles and Applications. Cambridge: Royal Soc. Chem., 2007.
7. Shpilevsky M. É., Shpilevsky É. M., and Stelmakh V. F. Fullerenes and fullerene-like structures: the basis for promising materials. J. Eng. Phys. Thermophys. 2001. Vol. 74, No. 6. Pp. 1499–1508.
8. Vityaz P. A. and Shpilevsky E. M. Fullerenes in matrices of different substances. J. Eng. Phys. Thermophys. 2012. Vol. 85, No. 4. Pp. 780–787.
9. Shpilevsky E. M., Shpilevsky E. M., Prylutsky Y. I., Matzuy L. Y., Zakharenko M. I., and Le Normand F. Structure and properties of C<sub>60</sub> fullerene films with titanium atoms. Mat.-wiss. Werkstofftech. 2011. Vol. 42, No. 1. Pp. 59–63.
10. Запороцкова И. В. Углеродные и неуглеродные наноматериалы и композитные структуры на их основе: строение и электронные свойства. Волгоград: Изд-во ВолГУ, 2009.
11. Шпилевский Э.М., Горох Г.Г., Шпилевский М.Э. Диффузионный массоперенос в системах с нанометровыми элементами структуры.

- Материалы XV Минского междунар. форума по теплопереносу. 23–26 мая 2016. Минск: ИТМО им. А. В. Лыкова НАН Беларуси, 2016. Т. 2. С.300–304.
12. Караулова Е.Н., Багрий Е.И. Фуллерены: методы функционализации и перспективы применения производных // Успехи химии. 1999. Т. 68. № 11. С.979–998.
  13. Wang C, Guo Z.-X., Fu S., Wu W., Zhu D. Polymers containing fullerene or carbon nanotube structures. *Progr. Polym. Sci.* 29 (2004) 1079-1141.
  14. Badamshina E, Gafurova M., Figovsky O., Shapovalov H. Fullerene-containing polyurethanes: review. *J. Scientific Israel-Technological Advantages.* 8 (2006) 149-159.
  15. G. P. Carpacheva Fullerene containing polymers. *Highmol. Compound. C.* 42 (2000) 1974-1999.
  16. Shpilevsky E.M., Penyazkov O.G., Filatov S.A., Shilagardi G., Tuvshintur P., Timur-Bator D., Ulam-Orgikh D. Modification of materials by carbon nanoparticles. *Solid State Phenomena. Switzerland,* 271 (2018) 70-75.
  17. Shpilevsky E.M., Shilagardi G., Akhremkova G. S., Mechanical and tribological property of high pressure polyethylene modified by fullerenes. Fullerenes and fullerene like structures. Heat and Mass Transfer Institute of NAS of Belarus, Minsk, Belarus. (2005) 218-228.
  18. Dynich R.A. Ponyavina A.N. Extraordinary transmission of thin metal films doped with densely-packed dielectric nanospheres. *Physics, Chemistry and Applications of Nanostructures.* (2013) 102-104.
  19. Dynich R.A., Zamkovets A.D., Ponyavina A.N., Shpilevsky E.M. Dependence of a surface plasmon resonance band on concentration of copper nanoparticles in transparent and carbon-bearing matrices. *International Journal of Nanoscience.* 18 (2019) 1940029-(1-4).
  20. Дмитриев А.В., Звягин И.П. Современные тенденции развития термоэлектрических материалов//УФН, 2010, т. 180, №8.- С.821-838.

21. Петрушева Т.Н., Подорожняк С.А., Шелованова Г.Н. Термоэлектрическая добротность в низкоразмерной полупроводниковой среде. // J. of Siberian Federaring University. Engeneering and Technologies. 2013, №6. Pp. 657-664.
22. Кэй Дж., Лэби Т., Таблицы физических и химических постоянных, изд. «физико-матиматической литературы», М., 1962, - 248 с,
23. Атакулов Ш.Б., Отаженов С.М., Расулов Р.Т., Розиюнова Н., Илхомхужаева Х. Термоэлектрическая эффективность пленок теллурида свинца при легировании элементами V группы // ФИП, 2009, т.7, №1-2. С.119-122.
24. Boukai Akram I., Dunimovich Yu., Tahir-Kheli J. et al. Silicon nanowires as efficient thermoelectric materials // Nature. 2008. 451. Pp. 168-171.
25. Venkatasubramanian R., Aivola E., Colpitts T. et al. Thin-film thermoelectric devices with high room-temperature figures of merit. Nature. 2001. 413. Pp. 597-602.
26. Popov M., Buga S., Vysikaylo Ph., Stepanov P., Tatyatin E., Medvedev V., Kirichenko A., Aksenonkov V., Skok V., Blank V. // Phys. Status Solidi. 2011. Vol. A 208. P. 2783–2789.
27. Баран Л. В., Шпилевский Э. М., Ухов В. А. Образование фаз в слоях медь-фуллерит при отжиге в вакууме // Вакуумная техника и технология. 2004. Т. 14. №1. С. 41–46.
28. Евтух А. А., Матвеева Л. А., Литовченко В. Г., Семенов Н. А., Шпилевский Э. М. Электронная полевая эмиссия наноконпозитов Cu–C<sub>60</sub> на кремнии // Фуллерены и фуллереноподобные структуры в конденсированных средах: сб. науч. ст. Минск: Институт тепло- и массообмена имени А. В. Лыкова НАН Беларуси, 2004. С. 204–206.

**ХАВСРАЛТ “ФУЛЛЕРЕН БОЛОН ТҮҮНИЙ МЕТАЛТ  
КОМПЛЕКСООР САЙЖРУУЛСАН КОМПОЗИТ МАТЕРИАЛ,  
ПОЛИМЕРИЙН ШИНЖ ЧАНАР БА БОЛОМЖИТ ХЭРЭГЛЭЭ”  
СЭДЭВТ СУУРЬ СУДАЛГААНЫ АЖЛЫН ХЭВЛЭГДСЭН,  
ИЛТГЭГДСЭН АЖЛУУД**