

## Фуллерен ба нанохоолойгоор чанаржуулсан полистиролийн физик шинж чанар

Э.М.Шпилевский<sup>1</sup>, Г.Шилагарди<sup>2</sup>, Левшунова<sup>1</sup>, Л.Баярчимэг<sup>2</sup>, Н.Төвжаргал<sup>2</sup>, Л.Энхтөр<sup>2</sup>, Л.Галбадрах<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ИТМО им.А.А.Люкова НАН Беларуси, г.Минск, [shpilevsky@itmo.by](mailto:shpilevsky@itmo.by)

<sup>2</sup>МУИС-ФЭС, Онол туршилагын тэнхим. УБ хот. Монгол улс, [gshilagardi@yahoo.com](mailto:gshilagardi@yahoo.com)

Фуллерен ба нүүрстөрөгчийн нанохоолойн бүтцийн онцлогийг харгалзан, тэдгээрийг бодит т холин шинэ материал гарган авах судалгаа эрчимтэй явагдаж байна. Ялангуяа сүүлийн жилүүдэд ахуйн хэрэгцээний гол материал болсон полистирол [ПС] ба полиэтиленийг нано-бөөмсөөр чанаржуулсан шинэ композиц материал гаргах судалгаа өргөн дэлгэрлийг олжээ [1]. Полимерд хольсон фуллерен ба нанохоолойнууд полимерийн гинжин молекулын нэг хэсэг болох буюу полимерийн макромолекулын салаа мөчрүүдийг холбогч элементийн үүрэг гүйцэтгэх, зарим тохиол -долд полимерийн дотор тусгаар бие даасан кластерийг ч үүсгэдэг байна [2]. Бид энэ ажилдаа ПС-ийн гэрэл нэвтрүүлэх ба парамагнет чанар, түүнд хольсон фуллерен болон нанохоолойн массын хувиас хэрхэн хамаарахыг судаллаа.

**Түлхүүрүг:** композиц материал, парамагнет чанар, гэрэл нэвтрүүлэх чанар

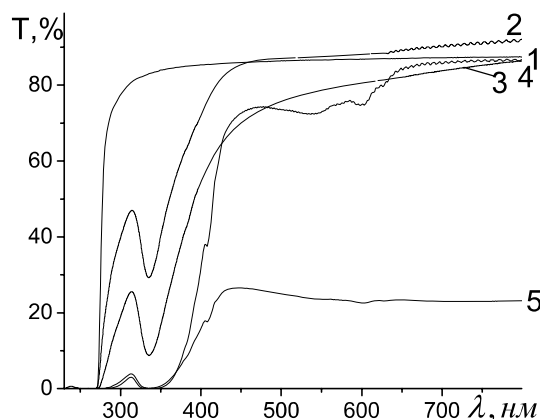
### ТУРШИЛТЫН АРГАЧЛАЛ

Судлах материал болгон фуллерен C<sub>60</sub> (99.9%-н цэвэр), нанохоолой (40нм диаметртэй, 1мкм урт), полистиролийг сонгон авч толуалд уусгаж, үүссэн уусмалаа хооронд нь холин, янз бүрийн хэмжээний фуллерен C<sub>60</sub> ба нанохоолой агуулсан холимог уусмалыг бэлтгэж, нэгэн төрөл болгохын тулд 80 минутын турш 27 кГц-ын давтамжтай ультра дуугаар үйлчлүүлэв. Холимог уусмалаа шилэн дээр асгаж тасалгааны температуртай агаарт 48 цаг хатааж, нийт массынхаа 0,005-аас 3% хүртэл фуллерен C<sub>60</sub> ба нанохоолой агуулсан дээжүүдээр нимгэн хальс бэлтгэн, тэдгээрийн гэрэл нэвтрүүлэх коэффициент Т-г 200-800 нм-ын мужид Беларуссын их сургуулийн CARY-500 төрлийн спектрометр, ЭПР спектрийг МУИС-ийн СЭПР-12 спектрометрээр тус тус хэмжлээ.

### ҮР ДҮН БА ТҮҮНИЙГ ШҮҮН ТУНГААХ НЬ

1-р зурагт цэвэр полистирол ба фуллеренаар чанаржуулсан полистиролийн нимгэн хальсны нэвтрүүлсэн гэрлийн спектрийг (гэрэл нэвтрүүлэх коэффициент Т) дүрслэн үзүүллээ. Цэвэр ПС дээж ультра ягаан туяаг 272нм –ын мужид 50% -ыг нэвтрүүлэх ба үзэгдэх гэрлийн мужид гэрэл нэвтрүүлэх дундаж коэффициент 87% хүрч байна. Фуллерен C<sub>60</sub> агуулсан композиц материалын доторх C<sub>60</sub> –ын массын хувь 0,50-аас 1,50% хүртэл нэмэгдэхэд гэрэл нэвтрүүлэх коэффициентийн урт долгионы зах бага зэрэг шилжих ба C<sub>60</sub> –ын массын хувийг цааш

ихэсгэхэд нэвтрүүлэх гэрлийн долгионы зах онцын нөлөө үзүүлэхгүй байна. Захын шилжилтийг 279нм (4.4эВ)-ын орчимд  $h_u \rightarrow h_d$  [3] оптик шилжилтэнд харгалзах C<sub>60</sub> –молекулын залгилтын шугам ажиглагдсантай холбон үздэг.

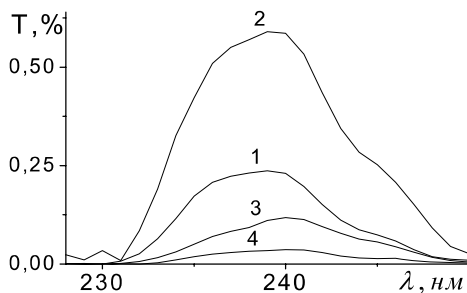


1-р зураг. Фуллерен C<sub>60</sub> агуулсан ПС- C<sub>60</sub> дээжүүдийг 260-900нм муж дэх нэвтрүүлсэн гэрлийн спектр 1-0,00%, 2-0,03%, 3-0,50%, 4-1,5%, 5-3.0%

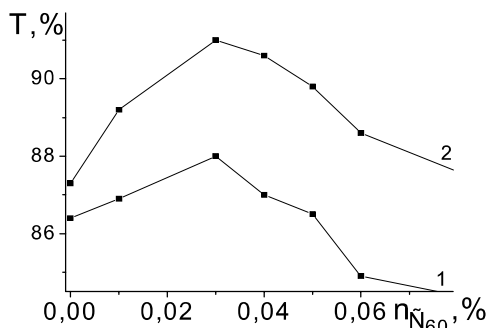
C<sub>60</sub> агуулсан ПС-ийн нимгэн хальсанд 313-400нм-ын мужид хүчтэй залгилт ажиглагдсан бөгөөд фуллерены хийн фазын доторх C<sub>60</sub>-молекулын залгилтын зурвас 333нм, хатуу фазын доторх түүний залгилтын зурвас 354нм орчим тус тус ажиглагддаг тул энэ залгилт ямар нэг хэмжээгээр фуллерены молекултай холбоотой гэж үзэх үндэс байна [4].

Их биш хэмжээний C<sub>60</sub> агуулсан (0,050-0,20%) полистиролийн нимгэн хальс ,цэвэр

полистиролд 100%-ын шингээлттэй, 230-250нм-ын мужид сулхан оптик нэвтрэлттэй байв.



2-р зураг. Бага концентрацитай фуллерен бүхий PS-C<sub>60</sub> полистиролийн нимгэн хальсны нэвтрүүлсэн гэрлийн спектр: 1-0.05%, 2-0.1%, 3-0.15%, 4-0.2%



3-р зураг. Фуллеренээр чанаржуулсан PS-ийн гэрэл нэвтрүүлэх коэффициент C<sub>60</sub> - ын массын хувиас хамаарах хамаарал 1. 500нм 2. 700нм

Дээрх хамаарлаас харвал C<sub>60</sub> –ийн массын хувь бага байхад фуллерены молекул ба PS-ийн харилцан үйлчлэлээс болж түүний бүтэц төгөлдөржих эрмэлзэл, C<sub>60</sub> –ийн масс ихсэхэд буй болсон фуллерены кластерууд полимерийн гинжийг задлах үйлчлэлтэй өрсөлдөж байна.

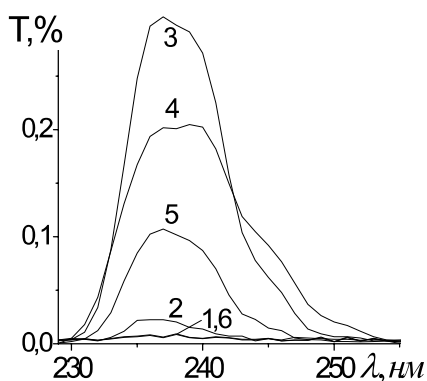
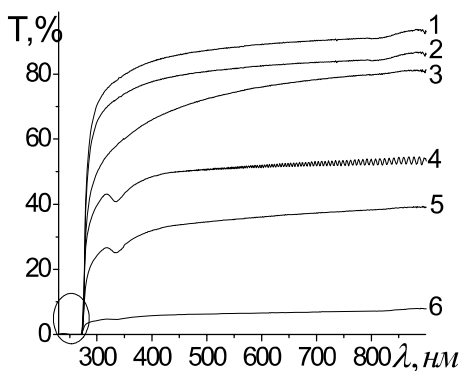
Мөн үзэгдэх гэрлийн мужид (400-800нм) фуллерен C<sub>60</sub> –ын концентрац бага байхад (0.005-0.030%) чанаржуулсан PS-ийн гэрэл нэвтрүүлэх коэффициент цэвэр PS-ийнхтой харьцуулбал ихсэж байгаа нь PS-ийн гинж эмхрэн зүгширсэнтэй холбоотой. 3-р зурагт фуллеренээр чанаржуулсан PS-ийн гэрэл нэвтрүүлэх коэффициент C<sub>60</sub> –ийн массын хувиас хэрхэн хамаарахыг долгионы

урт λ-ын хоёр утганд дүрслэн үзүүлээ. Фуллерены массын хувь 0,03%-аас их дээжүүдийг нэвтрүүлэх коэффициент T багасах ба ялангуяа 1,5%-аас их хэмжээний фуллерен агуулсан дээжүүдийн нэвтрүүлэх коэффициент онцгой багасч байв. Ингэхлээр тооны фуллерены молекул (<0.5%) полимертэй харилцан үйлчлэх бөгөөд илүү үлдсэн нь фуллеренээс тогтсон кластерийг үүсгэнэ.

Иймэрхүү дүгнэлтийг поли (2,6 диметил) фенилоксид C<sub>60</sub> дээжүүдийн фотолюминесценцийн спектрийг хэмжсэн судлаачид хийсэн [5] ба тэдний ажигласнаар фуллерены концентрац 0,5% байхад полимертэй комплекс үүсгэх ба харин түүний концентрац 4%-аас ихсэхэд кластер хэлбэртэй агрегат үүсгэх ажээ.

Нанохоолойгоор чанаржуулсан PS-ийн нимгэн хальсны нэвтрүүлсэн гэрлийн спектр, фуллерен C<sub>60</sub> агуулсан PS-ийн спектртэй төстэй мөртлөө ялгаатай зүйлийг агуулж байв. 4-р зурагт нанохоолой агуулсан PS-ийн нэвтрүүлсэн гэрлийн оптик спектрийг харууллаа. 1.0-2.0%-ын нано-хоолой агуулсан полистирол, фуллерен C<sub>60</sub> агуулсан PS-ийн нэгэн адил 220-250нм-ын мужид нанохоолойн концентрацаас хамаарч сулхан нэвтрүүлэх чадвартай байна (4-р зургийн баруун тал дахь нэмэлт зургийг хар). Фуллерен хольсноос PS-ийн гэрэл нэвтрүүлэх чадвар сайжирдгийн нэгэн адил нанохоолой холиход бас түүний гэрэл нэвтрүүлэх чадвар сайжирч байна. Эндээс үндэслэн фуллерен C<sub>60</sub> ба нанохоолой хоёулаа PS-ийн суурь бодистой, зургаан өнцөгт нүүрстөрөгчийн «цагираг»-ийн нийгэмчлэгдэн тархсан электроноор харилцан үйлчилдэг гэж үзэж болох юмаа. Үнэхээр чанаржуулсан PS-ийн нэгж эзэлхүүн дэх фуллерен ба нанохоолойн масст харгалзах зургаан өнцөгт нүүрстөрөгчийн «цагираг»-ийн тоог тооцоход сонирхолтой үр дүн гарлаа.

Чанаржуулсан PS-ийн нэвтрүүлсэн гэрлийн эрчим түүний нэгж эзэлхүүнд агуулагдсан фуллерен C<sub>60</sub> ба нанохоолойн масст агуулагдах нүүрс-төрөгчийн зургаан өнцөгт «цагираг»-ийн тоотой харилцан шүтэлцээтэй байв (2 ба 4-р зургийн баруун тал дэх нэмэлт зургийг хар). PS-ийн массын 0,050% ба 0,10% -тэй тэнцүү хэмжээний фуллерен C<sub>60</sub> –ыг холиход 1см<sup>3</sup> дэх нүүрстөрөгчийн зургаан өнцөгт «цагираг»-ийн тоо  $5.8 \times 10^{18}$  ба  $11.6 \times 10^{18}$  орчим байв.



4-р зураг. Янз бүрийн хэмжээний нанохоолой агуулсан полистиролийн нэвтрүүлсэн гэрлийн спектр: 1-0.00%, 2-1.00%, 3-1.5%, 4-1.75%, 5-2.00%, 6-3.00%

Ойролцоогоор ийм хэмжээний буюу тухайлбал  $5.9 \times 10^{18}$  ба  $9.7 \times 10^{18}$  нүүрстөрөгчийн зургаан өнцөгт «цагираг»-ийг буй болгохын тулд ПС-ийн массын 1,0-1,5%-той тэнцүү хэмжээний нанохоолойг түүнд хольж өгөх хэрэгтэй байв. Ингэхээр нанохоолой ба фуллерены аль алиныг полистиролд холиход түүний гэрэл нэвтрүүлэх коэффициент ихсэх боловч адилхан үр дүнд хүргэх нанохоолойн массын хувь фуллереныхээс арай их байх ажээ.

Фуллерен  $C_{60}$ -аар чанаржуулсан дээжид ажиглагддаг 313-400нм-ын орчим дахь залгилтын зурвас нанохоолойгоор чанаржуулсан дээжид ажиглагдсангүй. Фуллерен  $C_{60}$ , ПС-ийн гэрэл нэвтрүүлэх чадварыг сайжруулна.

Фуллерен  $C_{60}$  ба нанохоолойгоор чанаржсан ПС-ийн нэвтрүүлэх гэрлийн спектрийг хэмжихийн зэрэгцээ, түүний ЭПР

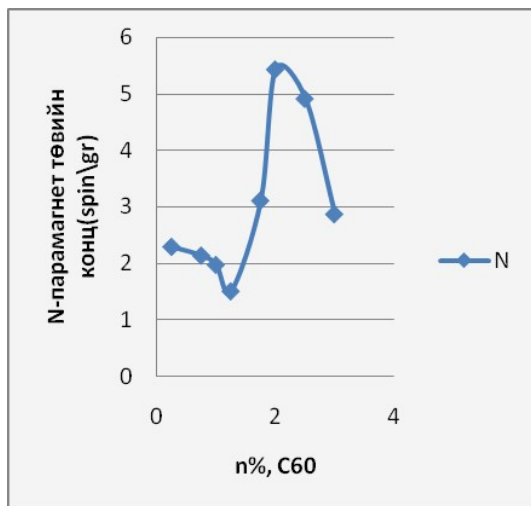
спектрийг хэмжиж, янз бүрийн хэмжээний фуллерен  $C_{60}$  ба нанохоолой агуулсан композиц материалын доторх парамагнет төвийн (ПТ) концентрац, шугамын өргөнийг нүүрсний эталон У75-тай харьцуулан тодорхойллоо.

5-р зурагт фуллерен  $C_{60}$  -аар чанаржуулсан ПС-ийн композиц дээжүүдийн ПТ-ийн концентрац ба түүн доторхи  $C_{60}$  -ын массын хувь хоёрын хооронд хамаарлыг дүрслэн үзүүллээ. Олон хэмжилтийн дүнгээс үзвэл, фуллерен  $C_{60}$  -ын массын хувийг аажим ихэсгэхэд ПТ-ын концентрац бараг тогтмол байснаа 2% орчим огцом өсч цаашид  $C_{60}$ -ын концентрацийг ихэсгэхэд буурч байна. Полистиролд нанохоолой хольж гарган авсан композиц материалын ПТ концентрац ба нанохоолойн массын хувийн хооронд дээрхийн адил хамаарал ажиглагдах боловч максимум нь 1%-ын орчим байна (6-р зураг). Полистиролд хольсон фуллерен  $C_{60}$  -ын массын хувь 2 %, нанохоолойнх 1% хүрэхэд ПС-ийн бүх салаа мөчрүүд хоорондоо холбогдон дуусч, фуллерен  $C_{60}$  ба нанохоолойн массын хувийг цааш ихэсгэхэд нь өөр хоорондоо холбогдож кластерийг үүсгэх ба энэ кластерийн бүрэлдэхүүнд орсон хослоогүй электрон агуулсан парамагнет төвүүд өөрсдийгөө харилцан унтрааснаас болж (хослоогүй хоёр электрон нийлж спин нь эсрэг чиглэсэн хосуудыг үүсгэх замаар) тэдгээрийн концентрац багасчээ. Композиц материалын доторхи ПТ-ын концентрац  $10^{17}$  (spin/gr) орчим байгаа нь ойролцоогоор 10 орчим нүүрс-төрөгчийн зургаан өнцөгт «цагираг»-бүрд нэг парамагнет төв харгалзахыг харуулж байна.

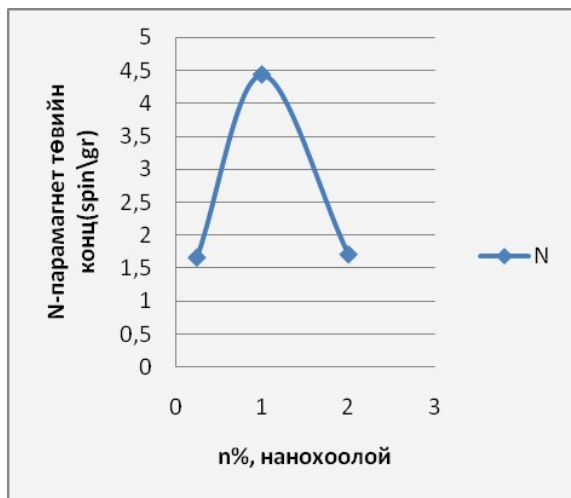
Харин ПТ-ын максимумд харгалзах фуллерен  $C_{60}$  ба нанохоолойн массын хувь харилцан адилгүй байгаа нь нанохоолой, фуллерен  $C_{60}$  -ийг бодвол арай илүү олон тасархай холбоостой буюу ПТ-тэй гэж үзэх үндэстэй ажээ. Харилцан адилгүй хэмжээний фуллерен  $C_{60}$  ба нанохоолойг агуулсан дээжүүдийн ЭПР спектр шугамын өргөн тэдгээрийн массын хэмжээнээс хамаарахгүй  $(2 \pm 0.1)G$  байгаа нь хослоогүй электрон агуулсан ПТ-үүд хоорондоо спиныхээ төлөвийг солих спин-спиний харилцан үйлчлэл үүсэхээргүй хол оршихыг илтгэнэ.

Эцэст нь дүгнэхэд фуллерен  $C_{60}$  ба нанохоолойгоор чанаржуулсан ПС-ийн доторхи нанобөөмсийн концентрац бага байхад эдгээр бөөмс полимерийн молекулуудыг холбоход зарцуулагдах ба тэдгээрийн концентрац ихсэхэд биеэ даасан

кластер маягийн конгломератыг (молекулаас давсан бүтэц буюу кластеруудын бөөгнөрөл) үүсгэнэ.



5-р зураг. ПТ-ийн концентрац ба фуллерен C<sub>60</sub>-ын массын хувь хоёрын хоорондох хамаарал



6-р зураг. ПТ-н концентрац ба нанохоолойн массын хувийн хоорондох хамаарал

- [2]. Плескачевский .Ю.М. Актуальные проблемы материалвдения и технологий полимерных композитов в XXI-веке (обзор и прогноз) Ю.М. Плескачевский // Проблемы современного материало-вдения : тр.6 сессий Науч.совета МААН,Киев,16 мая 2001.-Гомель: ИММС НАН Беларуси ,2002,-С.19-38.
- [3]. Макарова.Т.Л Электрические и оптические свойства мономерных и полимерзованных фуллеренев /Т.Л.Макарова//ФТП.-2001.-Т.35, вып.3.-С.257-293.
- [4]. Dihor.I.T. Optical properties of fullerite C<sub>60</sub> nanostructures in water /I.T.Dihor//Moldavian Journal of the Physical Sciences.2005.-Vol.4,№2 – P.240-244.
- [5]. Бирюлин.Ю.Ф. Оптические свойства фуллеренсодержащих свободных пленок полидиметил фенилоксида /Ю.Ф.Бирюлин[и др] // ФТП.-2003,- Т.37,вып.1-С.110-113

### НОМ ЗҮЙ

- [1]. Витязь.П.А. Углеродные наночастицы как активные модификаторы материалов /П.А.Витязь, Э.М.Шпилевский// Материалы ,технологий и обарудвание в производстве , эксплуатаций, ремонте // модернизаций машин .-Новополоцк: УО <<ПГУ>>,2007.-Т.1.-С.54-57.