

Органик нарны зайн идэвхт гадаргуун гэрлийн шингээлтийг сайжруулах судалгаа

А.Амарзаяа¹, Н.Төвжаргал^{1,*}, Алата², Нинжин², Ж.Даваасамбуу^{1,3}

¹Монгол Улсын Их Сургууль,
Шинжлэх ухааны сургуулийн Физикийн тэнхим,
Улаанбаатар хот 210646, Монгол улс

²Өвөр монголын багшийн их сургуулийн Физик
электроник мэдээллийн технологийн сургууль,
Хөх хот, БНХАУ

³Шинжлэх Ухааны Академийн Физик Технологийн хүрээлэн,
Улаанбаатар хот, Монгол улс

Бид энэ ажлаар РЗНТ:PCBM (1-(3-methoxycarbonyl) propyl-1-phenyl-[6, 6]-methanofullerene: poly(3-hexylthiophene) холимог хагас дамжуулагч полимер материалд суурилсан органик нарны элементийн идэвхт гадаргууг тогтоож, хатаах горим, түүний гэрлийн шингээлтэд хэрхэн нөлөөлөхийг судлав. Эндээс DCB уурын орчин болон ердийн нөхцөлд тасалгааны температурт хагааж, тогтоох нь илүү үр дүнтэй болохыг үзүүлэв. Мөн дээжийн гэрлийн шингээлтийг сайжруулах зорилгоор ИГО шилэн суурь дээр алтны нано-бөөмийн болон хөнгөн цагааны нимгэн үе давхарга суулгах замаар органик полимер нарны элементийн идэвхт гадаргуун гэрлийн шингээлтийг нэмэгдүүлж болохыг тогтоолоо.

PACS numbers: 81.05.Fb, 78.66.Qn, 88.40.hj, 88.40.jr

I. УДИРТГАЛ

Сүүлийн жилүүдэд органик хагас дамжуулагч полимер материалд суурилсан уян нарны элементийг гарган авах, түүнийг сайжруулах боломжийн судалгаа судлаачдын сонирхлыг ихээхэн татаж байгаа юм. Хэрэв хямд төсвөөр уян хатан, бат бөх, өндөр үр ашигтай нарны элемент хийж чадвал өдөр тутмын энгийн хэрэглээ болон нүүдэлчин ахуйд зохицсон тохиромжтой хэлбэрээр ашиглах боломжтой. Одоогоор олон төрлийн уян хатан органик нарны элемент гарган авч байгаа боловч түүний А.Ү.К бага байгаа учраас төдийлөн хэрэглээнд бүрэн гүйцэд нэвтрэхгүй байна. Органик полимер хагас дамжуулагч материалд суурилсан нарны элементүүдийн үр ашгийг нэмэгдүүлж, хэрэглээнд нэвтрүүлэх судалгаа эрчимтэй хийж байна. Ингэхдээ органик нарны зайн идэвхт гадаргуу болгон ашиглах материалын шинж чанарыг сайжруулах, гэрлийн шингээлтийг сайжруулах замаар үр ашгийг нэмэгдүүлэх нь илүү үр дүнтэй байдаг [1]. РЗНТ:PCBM холимог хагас дамжуулагч полимер материал нь органик нарны зайн идэвхт гадаргуу болгон ашигладаг онцгой материал юм. Энд PCBM (1-(3-methoxycarbonyl) propyl-1-phenyl-[6, 6]-methanofullerene) нь хориотой бүсийн өргөн 3.9 эВ акцепторын хольцтой хагас дамжуулагч материал бөгөөд органик нарны элемент, уян электрон төхөөрөмжүүдэд РЗНТ болон бусад донор полимер материалуудтай хослуулан ашиглаж байна [2]. РЗНТ (poly(3-hexylthiophene))

полимер хагас дамжуулагчийн цэнэг зөөгчийн хөдлөх чадвар сайн болон хориотой бүсийн өргөн 1.9 – 2 эВ байдаг нь нарны элементээр ашиглах хагас дамжуулагчийн шинж чанарыг үзүүлдэг[3]. Органик нарны элементийн идэвхт давхарга хийхэд РЗНТ-ийг донор, PCBM-ийг акцептор хольц болгон ашигласан нарны зайн цахилгаан орчныг өөрчлөх, РЗНТ:PCBM -ийн хольцын концентрацийн харьцааг өөрчлөх болон дулаан боловсруулалт хийсний дүнд одоогоор А.Ү.К-ийг 3.5%-д хүргээд байна[4].

Олон төрлийн хийц хэлбэр бүхий органик нарны элементүүд байдаг ба үүнд нэгэн төрлийн болон холимог давхарга бүтэцтэй нарны элементүүд багтдаг[5]. Бидний судлах нарны элементийн идэвхт гадарга хоорондоо фазын ялгаа бүхий холимог РЗНТ/PCBM донор, акцептор идэвхт гадаргуу, нүхэн дамжуулалтыг дэмжих PEDOT:PSS (poly(3,4 ethylenedioxythiophene):poly(styrene sulfonate) полимер давхаргатай, Индиум цагаан тугалганы исэл (ИГО) бүхий шилэн катод бүхий олон үет (multilayer) бүтэцтэй байна. Уян нарны зайг сайжруулах нэг арга нь гэрлийг түүний идэвхт гадаргуу дотор аль болох удаан барьж шингээлтийг нь ихэсгэх юм. Иймээс судлаачид гадаргуун плазмон үзэгдэлтэй нано-бөөмийн гэрлийн хугарал нь нимгэн хальсан нарны нарны зайн гэрлийн шингээлтийг ихэсгэх ирээдүйтэй арга гэж үзэж байна [6].

Иймээс энэ ажлаар РЗНТ:PCBM холимог хагас дамжуулагч полимер материалд суурилсан органик нарны элементийн гэрэл шингээгч оптик идэвхт гадаргууг тогтоож, хатаах горимоос түүний гэрлийн шингээлт хэрхэн хамаарахыг судлах, мөн ИГО шилэн суурь дээр алтны нано-бөөмийн

*E-mail: tuvjargal@num.edu.mn

болон хөнгөн цагааны нимгэн үе давхарга суулгах замаар плазмон органик полимер нарны элемент үүсгэж, түүний идэвхт гадаргуун гэрлийн шингээлтийг сайжруулах боломжийг судлах зорилготой.

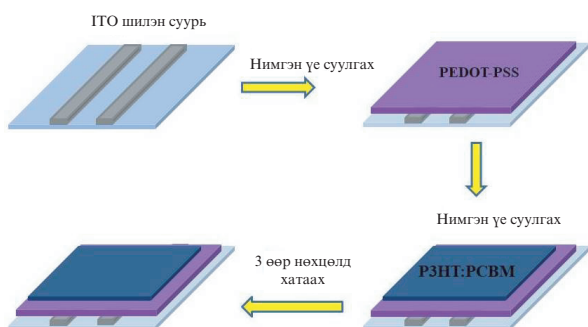
II. ТУРШИЛТ

Туршилтад ашиглах бэлдэц болон уусмалуудыг тохирох урвалжуудаас гарган авах бөгөөд шаардагдах урвалж, бодисуудыг худалдан (Sigma-Aldrich, Shanghai Macklin and Shanghai Aladdin Bio-Chem Technology) авсан.

Гарган авсан дээжийн гэрлийн шингээлтийг тасалгааны температурт UV-VIS спектрометр (Perkin-Elmer Lambda 35), алтны нано-бөөм суулгасан дээжийн гадаргуун морфологийг атомын хүчний микроскоп ашиглан судлав. Энэхүү туршилтын ажлыг хоёр үе шаттайгаар гүйцэтгэсэн болно. Үүнд:

- РЗНТ:РСВМ холимог хагас дамжуулагч органик полимер идэвхт гадаргууг тогтоож хатаах горим, гэрлийн шингээлтийн хамаарлыг судлах
- РЗНТ:РСВМ идэвхт гадаргуун гэрлийн шингээлтийг сайжруулах зорилгоор түүний суурьд алт (Au)-ны нано-бөөм болон хөнгөн цагааны нимгэн үе суулгах замаар плазмон органик нарны элементийн идэвхт гадарга үүсгэж түүний гэрлийн шингээлтийг судлах

болно. 1-р зурагт РЗНТ:РСВМ идэвхт гадаргуу бүхий олон үет нарны элемент бэлтгэх схемийг үзүүлэв.



Зураг 1: Олон үет нарны элементийн идэвхт гадаргуу РЗНТ:РСВМ тогтоох дээж бэлтгэлийн схем

Үүнийг дараах дарааллын дагуу гүйцэтгэх болно.

- РЗНТ болон РСВМ нунтаг бодисыг 1:1 жингийн харьцаатай хольж 2мл о-DCB(1, 2 Dichlorobenzene) уусгагчид хийн glove box-т 50°C температурт 1 цаг соронзон хутгуурт хутгаад, дараа нь орчны температурт 24 цагийн турш нэгэн

төрөл болтол хутгаж РЗНТ:РСВМ холимог уусмалыг бэлтгэв.

- ITO контакт бүхий суурь шилэн бэлдцээ цэвэрлэгч уусмалууд (нэрмэл ус, этанол, изопропилийн спирт, ацетон) ашиглан угааж, хатаах зуух, хэт авианы цэвэрлэгч болон озоны орчинд хэт ягаан туяагаар шарж цэвэрлэсэн.

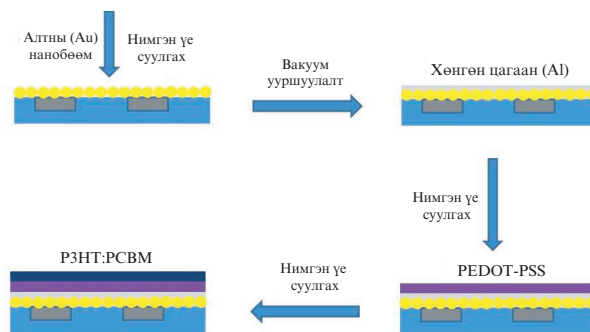
-Цэвэрлэж бэлдсэн шилэн бэлдэц дээр PEDOT:PSS нимгэн үеийг Spin coater (эргэлдэгч дискний тусламжтай нимгэн үе суулгах төхөөрөмж) ашиглан 2000 эрг/сек горимд ажиллуулан бүрэх ба нимгэн үеийг 120°C температурт 10 минут халааж тогтоов.

- РЗНТ:РСВМ идэвхт гадаргуу тогтоох: Spin coater ашиглан PEDOT:PSS давхарга бүхий шилэн бэлдэц дээрээ урьдчилан бэлтгэсэн РЗНТ:РСВМ нэгэн төрлийн уусмалаа жигд тарааж 100нм зузаан үе тогтоохоор тооцож 1000эрг/сек эргэлтийн хурдтайгаар жигд дусааж идэвхт гадаргуу тогтооно. Ингээд идэвхт давхарга тогтоосон дээжийн хатаалтын тохиромжтой нөхцөлийг тогтоохын тулд дараах нөхцөлүүдэд хатаасан. Үүнд:

1. Хатаах зууханд 60°C температурт 24 цаг хатаах
2. Тасалгааны температурт 24 цаг хатаах
3. DCB ($C_6H_4Cl_2$) бодисын уурын орчинд, тасалгааны температурт 24 цаг хатаах

-Гурван өөр горимоор хатаасан дээжүүдийн гэрлийн шингээлтийг UV-VIS спектрометр ашиглан хэмжинэ. Хэмжилтийн үр дүнд үндэслэн үзэгдэх гэрлийн мужид хамгийн сайн шингээлт өгч буй горимоор хатааж идэвхт давхарга тогтоосон дээжийг сонгож авсан.

-Дээжийн гэрлийн шингээлтийг дахин сайжруулахын тулд РЗНТ:РСВМ идэвхт гадаргуу суурьт алтны нано-бөөмийн болон хөнгөн цагааны нимгэн үе давхарга суулгах замаар плазмон нарны элемент үүсгэх туршилтын схемийг 2-р зурагт үзүүлэв.



Зураг 2: Алтны нано-бөөмийн болон хөнгөн цагааны нимгэн үе давхарга суулгаж плазмон нарны элементийн идэвхт гадаргуу РЗНТ:РСВМ тогтоох дээж бэлтгэлийн схем

Туршилтыг дараах дарааллын дагуу гүйцэтгэсэн болно.

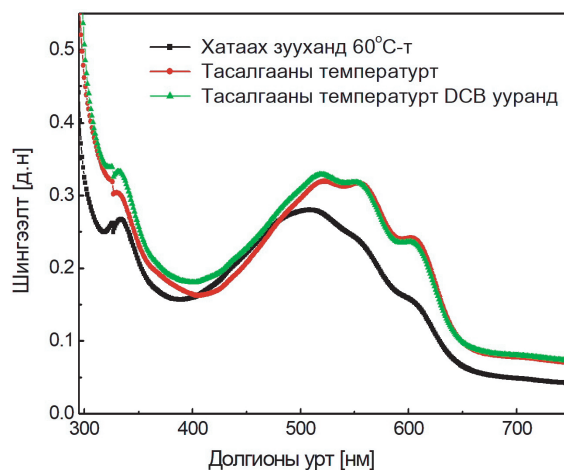
- Стандарт алтны nano-бөөмс агуулсан уусмалыг 30°C температурт 15 минут халааж бэлтгэнэ.
- Алт (Au)-ны nano-бөөмийг урьдчилан цэвэрлэж бэлдсэн ITO шилэн ялтас дээр spincoater ашиглан нимгэн үе хэлбэрээр суулгана. Ингэхдээ бүрэх эргэлтийн хурд нь эхний 10 секундэд 200 удаа, дараагийн 120 секундэд 4000 удаа эргэж байхаар тохируулсан.
- Шилэн ялтасны гадаргуу дээр алтны nano-бөөмс жигд, дан давхарга байдлаар тархан суусан байх шаардлагатай бөгөөд түүний гадаргуун морфологийг атомын хүчний микроскоп ашиглан шалгана.
- Алтны нимгэн үе жигд суусан дээжийг сонгон авч, түүнтэй хамт гадаргуун плазмын эффектгүйг үзүүлэхэд туслах хөнгөнцагаан (Al)-ы нимгэн үеийг 2-р зурагт үзүүлсэн схемийн дагуу вакуум ууршуулалтын аргаар суулгана.
- Үүний дараа 2-р зурагт үзүүлсэн схемийн дагуу эхний туршилтаар нарны элементийг бэлтгэж РЗНТ:PCBM идэвхт давхарга тогтоосон аргаар суулгаж, хатааж бэлтгэнэ.

Эцэст нь бэлэн болсон дээжийн гэрлийн шингээлтийг UV-VIS спектрометр ашиглан хэмжив.

III. ҮР ДҮН

Бид олон үе давхарга бүхий органик нарны элементийн идэвхт давхарга болох РЗНТ:PCBM-ийг ITO шилэн гадаргуу дээр тогтоож, гурван өөр горимоор хатаах туршилтыг хийсэн дээжүүдийн гэрлийн шингээлтийн хэмжилтийн үр дүнг 3-р зурагт үзүүлэв.

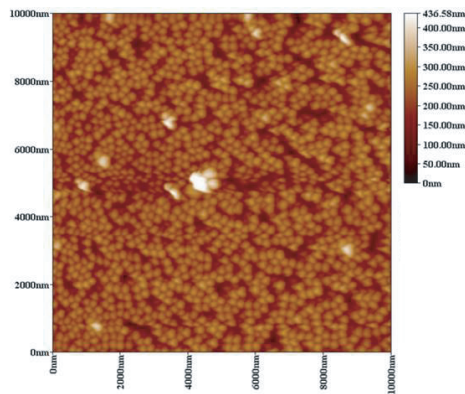
Ингэхдээ дээжийг хатаах зууханд 60°C температурт 24 цаг, тасалгааны температурт 24 цаг, DCB бодисын уурын орчинд, тасалгааны температурт 24 цаг хатааж РЗНТ:PCBM идэвхт гадаргууг тогтоосон. Нарны элемент нь гэрлийн фотоэффектийн үзэгдлийн дагуу энергийг цахилгаан энерги болгон хувиргах төхөөрөмж тул үзэгдэх гэрлийн мужид хамгийн сайн гэрэл шингээж байгаа нь өндөр үр ашигтай байх болно. 3-р зурагт үзүүлсэн гэрлийн шингээлтийн хэмжилтийн үр дүнгээс үзэхэд DCB бодисын уурын орчинд, тасалгааны температурт 24 цаг хатаасан дээж үзэгдэх гэрлийн мужид хамгийн сайн гэрлийн шингээлт өгч байгааг үзүүлэв. Мөн дээжийг тасалгааны температурт шууд хатаах нь үр дүнтэй болох нь эндээс харагдаж байна. Идэвхт гадаргуун



Зураг 3: Гурван өөр горимоор хатааж, тогтоосон РЗНТ:PCBM идэвхт гадаргуун үзэгдэх гэрлийн муж дахь гэрлийн шингээлтийн спектр

РЗНТ фазын хувьд 400-650nm үзэгдэх гэрлийн мужид гэрэл шингээлт өгдөг бол PCBM фазын хувьд 300-350nm хэт ягаан туяаны мужид гэрлийн шингээлт өгдөг. Энэ нь эдгээр материалуудын электрон бүтэцтэй холбоотой[7].

Плазмон нарны элемент үүсгэх замаар, идэвхт гадаргуун гэрлийн шингээлтийг сайжруулах зорилгоор алт (Au)-ны nano-бөөмийг урьдчилан цэвэрлэж бэлдсэн ITO шилэн ялтас дээр Spin coater ашиглан нимгэн үе хэлбэрээр суулгасан дээжийн гадаргуун морфологийн зургийг атомын хүчний микроскопоор авсныг 4-р зурагт үзүүлэв.

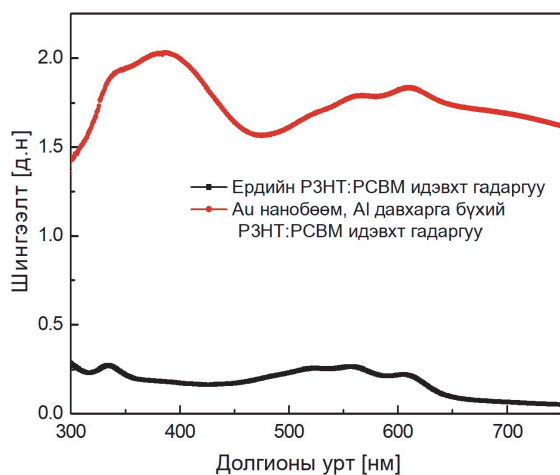


Зураг 4: ITO шилэн ялтас дээр алтны nano-бөөмсийн үе давхрага суусан байдал.

Эндээс үзэхэд тухайн дээжийн хувьд шилэн гадаргуу дээр алтны нимгэн үе жигд тархан суусан болохыг харж болно. Туршилтыг олон дахин хийж алтны nano-бөөмс хамгийн сайн, жигд, нимгэн тархалт бүхий дээжийг сонгон авч вакуум ууршуулалтын аргаар хөнгөн цагааны нимгэн үе суулгаж, нарны элемент хийхэд ашигласан.

Металл nano-бөөмүүд нь бөөрөнхий хэлбэртэй учир тэд зэрэгцэн байрлахаараа хоорондоо зай

үүсгэдэг. Тэр үүссэн зайд металл хөнгөн цагаан шигтгэн өгснөөр гэрлийн хугарал үүсгэнэ. Нано-бөөм нь өөрөө гадаргуун плазмон резонансын нөлөөгөөр гэрлийг удаан барьж тогтоон тархалтыг ихэсгэнэ, мөн үүний дээр хөнгөн цагаанаас үүдсэн гэрлийн хугарал нэмэгдэж гэрэл шингээж, барих үйл явцыг улам дэмжиж өгөх үүрэгтэй [8].



Зураг 5: РЗНТ:РСВМ идэвхт гадаргууд суурилсан алтны нано-бөөмийн болон хөнгөн цагааны нимгэн үе давхарга суулгаж плазмон нарны элемент болон ердийн органик нарны элементийн идэвхт гадаргуун гэрлийн шингээлт

Эцэст нь РЗНТ:РСВМ идэвхт гадаргууд суурилсан алтны нано-бөөмийн болон хөнгөн цагааны нимгэн үе давхарга суулгаж плазмон нарны элемент болон ердийн органик нарны элементийн идэвхт гадаргуу гэрлийн шингээлтийг тус тусд нь хэмжиж харьцуулан үзүүлсэн үр дүнг 5-р зурагт үзүүлэв.

Эндээс үзэхэд алтны нано-бөөмийн болон хөнгөн цагааны нимгэн үе давхарга суулгаж өгсөн нарны элементийн гэрлийн шингээлт ердийн органик полимер нарны элементтэй харьцуулахад 6 дахин ихэссэн нь харагдаж байна. Идэвхт га-

даргууд шингээгдэх гэрлийн хэмжээ нэмэгдэх нь төдий чинээ гэрлийн энергийг цахилгаан энерги болгон хувиргах хэмжээ нэмэгдэнэ гэсэн үг юм[1]. Үүний үр дүнд нарны элементийн ашигт үйлийн коэффициент нэмэгдэх боломжтой болно.

IV. ДҮГНЭЛТ

Энэ ажилд РЗНТ:РСВМ холимог хагас дамжуулагч полимер материалд суурилсан органик нарны элементийн идэвхт гадаргуу тогтоон хатаах горимоос түүний гэрлийн шингээлт хэрхэн хамаарахыг судлав. Гэрлийн шингээлтийн хэмжилтийн үр дүнгээс DCB уурын орчин болон ердийн нөхцөлд тасалгааны температурт хатаах нь илүү үр дүнтэй болохыг тогтоов. Энэ нь гэрэл шингээгч идэвхт гадаргуун кристаллжилттай холбоотой.

Мөн дээжийн гэрлийн шингээлтийг сайжруулах зорилгоор ИГО шилэн суурь дээр алтны нано-бөөмийн болон хөнгөн цагааны нимгэн үе давхарга суулгахад нарны элементийн идэвхт гадаргуун гэрлийн шингээлт зургаа дахин нэмэгдэж байна.

Органик нарны элементийн идэвхт гадаргуун гэрлийн шингээлтийг нэмэгдүүлснээр түүний ашигт үйлийн коэффициент мөн адил нэмэгдэж, ирээдүйд хямд төсөр, үр ашиг өндөртэй уян хатан шинж чанар бүхий нарны зайн эх үүсвэрийг ашиглах боломж бүрдэх юм.

Талархал

Энэхүү ажлыг гүйцэтгэхэд дэмжлэг үзүүлж суурь судалгааны төслийг санхүүжүүлсэн ШУТС болон БСШУЯ, туршилт боловсруулалтыг хийх материал, багаж төхөөрөмжөөр хангаж, үнэтэй зөвлөгөө өгч хамтран ажилласан БНХАУ-ын ӨМӨЗО-ны Багшийн их сургуулийн Функционал материалын физик, химийн лабораторийн хамт олонд гүн талархал илэрхийлье.

- [1] Kim, H. et al., "Organic solar cells based on conjugated polymers: history and recent advances" Korean J. Chem. Eng. 31, (2014) 1095-1104
- [2] Jan C.; Knight, Brian W.; Lepeq, F.; Wudl, Fred; Yao, Jie; Wilkins, Charles L., "Preparation and Characterization of Fulleroid and Methanofullerene Derivatives". J. Org. Chem., 60, 3, (1995) 532-538
- [3] Vishal Shrotriya, Jianyong Ouyang, Ricky J. Tseng, Gang Li, Yang Yang., "Absorption spectra modification in poly(3-hexylthiophene):methanofullerene blend thin films" Chemical Physics Letters 411 (2005), 138-143
- [4] F.Padinger, R.S.Rittberger, N.S.Sariciftci., "Effects of Postproduction Treatment on Plastic Solar Cells" Adv. Funct. Mater. 13, (2003) 85-88
- [5] Harald Hoppe and Niyazi Serdar Sariciftci "Organic solar cells: An overview" Journal of Materials Research, 19, (2004) 1924-1945
- [6] K.R. Catchpole and A. Polman, "Plasmonic solar cells" Optics Express Vol. 16, Issue 26, (2008) 21793-21800
- [7] Tao Xu, Luping Yu, "How to design low bandgap polymers for highly efficient organic solar cells" Materials Today, Volume 17, Issue 1, (2014) 11-15,
- [8] E.Stratakis,E.Kymakis., "Nanoparticle-based plasmonic organic photovoltaic devices" Materials Today. Volume 16, Issue 4, (2013) 133-146