

**Maxmanov Urol Kudratovich**

*O'zbekiston Respublikasi Fanlar akademiyasi  
Ion-plazma va lazer texnologiyalari instituti  
"Optika va spektroskopiya" laboratoriyasi mudiri  
fizika-matematika fanlari doktori, katta ilmiy xodim,  
E-mail: [urol\\_m@mail.ru](mailto:urol_m@mail.ru)*

**Chuliyev Tohirjon Abdulloyevich**

*Guliston davlat universiteti tayanch doktoranti  
E-mail: [chuliyevtohirjon@gmail.com](mailto:chuliyevtohirjon@gmail.com)*

**Aslonov Bobirjon Ashurovich**

*O'zbekiston Respublikasi Fanlar akademiyasi  
Ion-plazma va lazer texnologiyalari instituti tayanch doktoranti  
E-mail: [aslonovbobir@mail.ru](mailto:aslonovbobir@mail.ru)*

**Esanov Shaxboz Ashurovich**

*O'zbekiston Respublikasi Fanlar akademiyasi  
Ion-plazma va lazer texnologiyalari instituti tayanch doktoranti  
E-mail: [sh\\_esanov@yahoo.com](mailto:sh_esanov@yahoo.com)*

**Bekmurodov Zahridin**

*O'zbekiston Respublikasi Fanlar akademiyasi  
Ion-plazma va lazer texnologiyalari instituti kichik ilmiy xodimi  
E-mail: [z\\_bekmurodov@yahoo.com](mailto:z_bekmurodov@yahoo.com)*

## **C<sub>70</sub> FULLEREN MOLEKULALARINING O'Z-O'ZIDAN TASHKILLANISHI: FULLERENNING TURLI O'LCHOVLI NANOSTRUKTURALARI**

**Annotatsiya.** Fulleren molekulalarining tomchilar hajmida qayta kristallanishi erituvchining turiga va ularning hajmiy ulushlariga kuchli bog'liq bo'lib, erituvchi molekulalari kristall panjaraga osongina kiradi, uning tuzilishini buzadi va fulleren asosida yangi nanostrukturalar shakllanishida muhim bo'lib qoladi. Ushbu ishda C<sub>70</sub> fullerenning turli erituvchilardagi eritmasidan foydalanib, xilma-xil shakldagi nanostrukturalarni olishning yangi usuli taqdim etildi. Nanostrukturalar o'sish mexanizmiga asoslanib, uni hosil qilish ketma-ketligi va parametrlarini o'zgartirib, murakkab strukturali gulsimon va bargsimon fulleren nanostrukturalari olindi.

**Kalit so'zlar:** C<sub>70</sub> fulleren, nanostruktura, molekulyar eritma, kolloid eritma, tomchi bug'lanishi, gulsimon struktura, bargsimon struktura

**Махманов Урол Кудратович**

*заведующий лабораторией «Оптика и спектроскопия»  
Института ионно-плазменных и лазерных технологий  
Академии наук Республики Узбекистан,*

доктор физико-математических наук,  
старший научный сотрудник  
E-mail: [urol\\_m@mail.ru](mailto:urol_m@mail.ru)

**Чулиев Тохиржон Абдуллоевич**  
Докторант Гулистанского государственного университета,  
E-mail: [chuliyevtohirjon@gmail.com](mailto:chuliyevtohirjon@gmail.com)

**Аслонов Бобиржон Ашуорович**  
Докторант Института ионно-плазменных и  
лазерных технологий Академии наук Республики Узбекистан  
E-mail: [aslonovbobir@mail.ru](mailto:aslonovbobir@mail.ru)

**Эсанов Шахбоз Ашуорович**  
Докторант Института ионно-плазменных и  
лазерных технологий Академии наук Республики Узбекистан  
E-mail: [sh\\_esanov@yahoo.com](mailto:sh_esanov@yahoo.com)

**Бекмуродов Захриддин**  
Младший научный сотрудник Института ионно-плазменных и  
лазерных технологий Академии наук Республики Узбекистан  
E-mail: [z\\_bekmurodov@yahoo.com](mailto:z_bekmurodov@yahoo.com)

## **САМООРГАНИЗАЦИЯ МОЛЕКУЛ ФУЛЛЕРЕНА $C_{70}$ : ФУЛЛЕРЕНОВЫЕ НАНОСТРУКТУРЫ РАЗЛИЧНОЙ РАЗМЕРНОСТИ**

**Аннотация.** Рекристаллизация молекул фуллеренов в объеме капли сильно зависит от типа растворителя и их объемной доли; молекулы растворителя легко проникают в кристаллическую решетку, разрушают ее структуру и играют важную роль в формировании новых наноструктур на основе фуллеренов. В данной работе представлен новый метод получения наноструктур различной формы с использованием растворов фуллерена  $C_{70}$  в различных растворителях. На основе механизма роста наноструктур путем изменения последовательности и параметров ее формирования были получены цветкообразные и листовидные фуллереновые наноструктуры со сложной структурой.

**Ключевые слова:** фуллерен  $C_{70}$ , наноструктура, молекулярный раствор, коллоидный раствор, капельное испарение, цветкообразная структура, листовидная структура.

**Makhmanov Urol Kudratovich**

*Head of the Laboratory "Optics and Spectroscopy"  
of the Institute of Ion-Plasma and Laser Technologies,  
Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan,  
Doctor of Physical and Mathematical Sciences,  
Senior Researcher*

*E-mail: [urol\\_m@mail.ru](mailto:urol_m@mail.ru)*

**Chuliev Tohirjon Abdulloevich**

*Doctoral student of the Gulistan State University,*

*E-mail: [chuliyevtahirjon@gmail.com](mailto:chuliyevtahirjon@gmail.com)*

**Aslonov Bobirjon Ashurovich**

*Doctoral student of the Institute of Ion-Plasma and Laser Technologies,  
Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan*

*E-mail: [aslonovbobir@mail.ru](mailto:aslonovbobir@mail.ru)*

**Esanov Shakhboz Ashurovich**

*Doctoral student of the Institute of Ion-Plasma and Laser Technologies,  
Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan*

*E-mail: [sh\\_esanov@yahoo.com](mailto:sh_esanov@yahoo.com)*

**Bekmurodov Zakhriddin**

*Junior researcher at the Institute of Ion-Plasma and Laser Technologies,  
Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan*

*E-mail: [z\\_bekmurodov@yahoo.com](mailto:z_bekmurodov@yahoo.com)*

## **SELF-ORGANIZATION OF FULLERENE C<sub>70</sub> MOLECULES: FULLERENE NANOSTRUCTURES WITH VARIOUS DIMENSIONALITY**

**Abstract.** Recrystallization of fullerene molecules in the volume of a drop strongly depends on the type of solvent and their volume fraction; solvent molecules easily penetrate the crystal lattice, destroy its structure and play an important role in the formation of new nanostructures based on fullerenes. This work presents a new method for obtaining nanostructures of various shapes using solutions of C<sub>70</sub> fullerene in various solvents. Based on the mechanism of growth of nanostructures by changing the sequence and parameters of its formation, flower-shaped and leaf-shaped fullerene nanostructures with a complex structure were obtained.

**Key words:** C<sub>70</sub> fullerene, nanostructure, molecular solution, colloidal solution, droplet evaporation, flower-shaped structure, leaf-shaped structure

## KIRISH

Hozirda boshqariladigan morfologiyaga ega nanostrukturali kristallarni sintez qilishning samarali usullarini ishlab chiqishga katta qiziqish bildirilmoqda [1]. Buning boisi, sintez qilinadigan nanostrukturali kristallarning panjara tuzilishi va morfologiyasi ko'pincha uning katalitik faollik, elektr o'tkazuvchanlik, optik yutilish va fotolyuminessentsiya kabi xususiyatlariga bevosita ta'sir qiladi [2-4]. Bunday materiallarni olish uchun sintezda o'sayotgan nanostrukturalarning olinish jarayonini samarali boshqaradigan to'g'ri strukturalanish usulini hamda tajribada bir-biri bilan o'zaro ta'sir qiluvchi nanoob'ektlar to'plamini to'g'ri tanlashga e'tibor berish kerak. Nanostrukturalarni olishning eritma-fazali usuli eng samarali bo'lib, bunda turli xil erituvchilardan foydalanish erigan molekulalarning nanostrukturalar hosil qilish jarayonini samarali boshqarishi mumkin [5-6]. Bu usul aksariyat hollarda bir bosqichda sodir bo'ladi, sintez boshlanganidan keyin hech qanday tashqi modifikatsiya yoki sharoitlarni qo'llash talab qilinmaydi. Bir bosqichli jarayon oddiy va tushunarli, bunda sintez natijasida nanostrukturali mahsulotlar xilma-xil bo'lmaydi. Nanostrukturalarni olishning eritma-fazali usulining boshqa misollarida tashqi ta'sirlardan foydalanadi va sintez (o'sish) bir necha bosqichda sodir bo'ladi [7]. Ko'p bosqichli sintezda tajriba muhitini ixtiyoriy o'zgartirish va ishlab chiqqan holda noyob nanostrukturalarni olish mumkin. Biroq, bu yondashuv maqsadni to'g'ri va aniq tanlashni talab qiladi.

Eritma-fazali sintezning afzalliklaridan to'liq foydalanish uchun o'zaro ta'sirlari yaxshi o'rganilgan eruvchi va erituvchilarni to'g'ri tanlash kerak [8]. Buning uchun fullerenlar eng qiziq nomzodlardan biri hisoblanadi, chunki ular ko'pincha kristall panjaraga kiritilgan erituvchi turiga qarab kristallanishning keng sohasiga ega [9]. Bundan tashqari, yomon erituvchi qo'shilishi sintez sohasini yanada kengaytirishi mumkin, chunki u fulleren eritmalarining eruvchanligini pasaytiradi va eritma kontsentratsiyasini o'zgartiradi [8, 10].

$C_{70}$  fullerenning kub shaklidagi kristallari uning mezitilen eritmasida hosil qilingan [11], ammo eritmaga izopropil spirti (IPA) yoki etanol qo'shilishi trubka va tugallanmagan sterjen shaklidagi nanostrukturalarni olish imkonini beradi [12]. Kristal morfologiyalarining yuqori xilma-xilligi  $C_{70}$  fulleren asosida bir qancha kristallografik fazalarning mavjud ekanligi kelib chiqadi. Yarimo'tkazgich xususiyatli fullerenli turli o'lchovli nanostrukturalari fan va texnikaning turli jabhalarida keng imkoniyatli materillar sifatida qaralishi, ularni sintez qilishning ko'p energiya va vaqt talab qilmaydigan, texnik jihatdan esa oson usullarini topishni talab qilmoqda.

Ushbu ishning maqsadi  $C_{70}$  fulleren asosida turli o'lchovli nanostrukturalar sintez qilish, ularning morfologik va optik xususiyatlarini tadqiq qilishga

bag'ishlangan. Sintez qilingan nanostrukturalarning o'lchamli xususiyatlarini boshqarish muhokama qilinadi.

### **Tadqiqot metodi va reagentlar**

Tajribalarda  $C_{70}$  fulleren kristall kukuni (sofligi >99,8%) va erituvchilar sifatida orto-ksilol, toluol va etanoldan foydalanildi. Barcha reagentlar Sigma-Aldrich (AQSH) ishlab chiqaruvchisidan keltirilgan. Qattiq taglik sifatida K-8 markali optik shishadan (sirt notekisligi <10 nm) foydalanildi. Tajribalarda taglik sirti maxsus plazmali tozalash qurilmasi (Harrick Plasma, PDC-002, AQSH) yordamida nano o'lchamgacha tozalashdan o'tkazildi.

Germetik yopilgan shisha kolbada "erituvchi  $C_{70}$  kukuni" aralashmasi laboratoriya magnit aralashtirgichi (WIGO MS-11H, Polsha) yordamida 1.8 soat davomida ~2.4 Gs chastotada uzluksiz mexanik aralashtirish orqali eritildi. So'ngra,  $C_{70}$  eritmasi ultratovushli vannada (DC-120H) yordamida 20 daqiqa davomida ultratovushli ta'sir o'tkazildi.  $C_{70}$  molekulyar eritmasining tomchilari pipet dozator (VITLAB GmbH, Germaniya) yordamida aniq mikrohajmlarda olib tajribalarda foydalanilgan.

Sintez qilingan  $C_{70}$  fulleren nanostrukturalarining morfologik va o'lchamli xususiyatlarini aniqlash uchun yuqori aniqlikdagi skanlovchi elektron mikroskopidan (JSM-IT200, Yaponiya) foydalanildi.

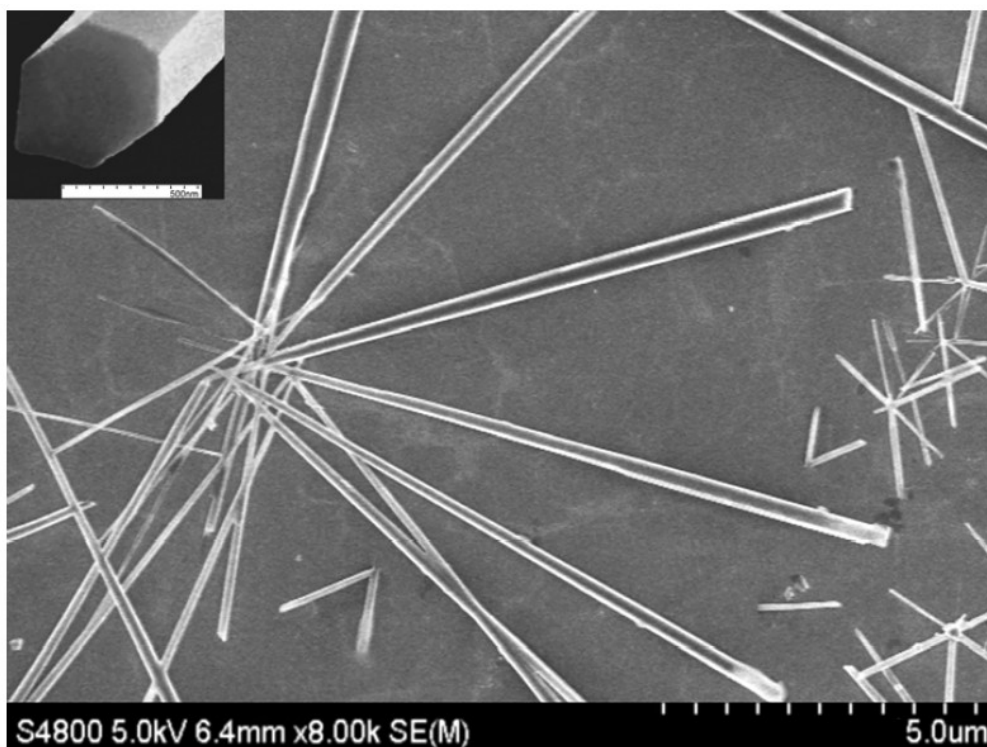
### **Natijalar va ularning muhokamasi**

So'nggi o'n yillikda biz turli morfologiya va strukturaga ega fulleren nanomateriallarini o'stirish orqali fulleren molekulalarining o'z-o'zidan tashkillanishi haqida ilmiy natijalar taqdim etildi [13-17]. Biz tomonimizdan taklif etilgan usul fulleren eritmasi tomchisining bug'lanishida erigan modda molekulalarining o'z-o'zidan tashkillanish mexanizmiga asoslangan nanostrukturalarni sintez qilishdir. Sintez qilinayotgan nanostrukturalarning xilma-xilligini ta'minlashga biz tomonimizdan tajriba sharoitlarini o'zgartirish, erituvchilar turini tanlash, shuningdek erigan modda kontsentratsiyasini turlicha tanlash orqali erishildi.

Biz tomonimizdan  $C_{70}$  fulleren asosida turli o'lchovli nanostrukturalar olish uchun "bug'lanayotgan tomchi" usuli taklif etilgan bo'lib [18], bu usul fullerenning molekulyar/kolloid eritmasi tomchisining qattiq taglik sirtida bug'lanishida nanostrukturalar hosil bo'lishiga asoslangan. Aytish joizki, bu holda taglik va eritmaning xususiyatlariga, shuningdek, kapillyar kuchlarning nisbiy kattaligini belgilaydigan tomchi hajmiga qarab, kontakt chizig'ining siljishining ikkita asosiy stsenariysi mavjud. Ulardan biriga ko'ra, tomchi bug'lanishi jarayonida kontakt chizig'i to'xtab turishi yoki juda sekin harakatlanishi mumkin,

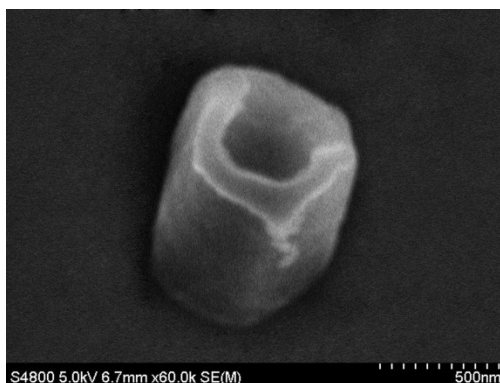
shuning uchun eritma va taglik o'rtasidagi aloqa burchagi kamayadi va muvozanatsiz bo'ladi. Boshqa bir stsenariyda, aloqa chizig'ining harakati muvozanatli tomchi shaklini ta'minlab, doimiy aloqa burchagini saqlab turadi. Birinchi stsenariy, agar kontakt chizig'ini tortuvchi kapillyar kuchlar uni ushlab turgan kuchlarga nisbatan zaif bo'lsa, amalga oshiriladi. Bu eritma bilan taglikning yaxshi namlanishi, masalan, shisha ustidagi suv tomchisi, tomchining balandligi uning radiusidan ancha past bo'lganda va kapillyar kuchlar nisbatan zaif bo'lganda sodir bo'ladi. Taglikning notekisligi, shuningdek, chiziqni ushlab turishga va bug'lanish tezligi sekin harakatga yordam beradi. Ikkinchi stsenariy, taglikni eritma bilan zaif namlash (gidrofob sirtga tushish) uchun xosdir - bu holda, kapillyar kuchlar nisbatan katta bo'ladi va taglik aloqa chizig'ini ushlab turmaydi. Tomchi kattaligi muayyan kuchlarning ahamiyatini, ularning ba'zilarini e'tiborsiz qoldirish imkoniyatini yoki aksincha, hisobga olish zarurligini belgilaydigan muhim parametrdir. Tomchi hajmining pasayishi bilan sirt kuchlarining energiyasi hajmda taqsimlangan energiyaga (gravitatsiyaviy xususiyatga ega) nisbatan sekinroq kamayadi, chunki birinchisi xarakterli o'lchamning kvadratiga, ikkinchisi esa uning hajmiga kubik proportsionaldir. Taglik va eritma o'rtasidagi harorat gradienti, tomchi taglikka qo'yilganda paydo bo'ladi. Harorat o'z-o'zini yig'ishga ta'sir qiluvchi muhim omil hisoblanadi [18]. Avvalo, bug'lanish jarayonining intensivligini va tomchi ichidagi gidrodinamik oqimlarni aniqlaydi, bundan tashqari kompensatsion gidrodinamik oqimlarga qarshi zarrachalarni harakatga keltiradigan termoforez kuchlarini keltirib chiqaradi.

1-rasmda gorizontall joylashgan shisha taglikning tekis sirtida joylashgan  $T \approx 32^\circ\text{S}$  ga qadar qizdirilgan  $\text{C}_{70}$  fulleren molekulyar eritmasining ( $\text{C}_{70} \sim 1,5 \text{ mg/ml}$ ) bir tomchisi hajmidan orto-ksilol bug'lanishi natijasida olingan  $\text{C}_{70}$  nanoviskerlarining skanlovchi elektron mikroskopik (SEM) tasviri keltirilgan [19].  $\text{C}_{70}$  filamentli kristallining o'lchamlari (uzunligi va diametri) keng taqsimotli bo'lib,  $\text{C}_{70}$  viskerlarining maksimal uzunligi va diametri mos ravishda  $\sim 10 \text{ mkm}$  va  $\sim 0,55 \text{ mkm}$  qiymatlarga etdi. Ko'rinib turibdiki,  $\text{C}_{70}$  nanoviskerlarining shakllanishi olti burchakli tartib bilan, shisha taglikda uning eritmasining tomchisi bug'lanishida fulleren nanozarrachalarining o'z-o'zidan tashkillanishi tufayli sodir bo'ladi. Fulleren nanoviskerlari supramolekulyar tuzilmalar bo'lib, ularda Van-der-Vaals va elektrostatik kuchlar bilan bog'langan  $\text{C}_{70}$  fulleren molekulalaridan tashkil topgan.



**1-rasm.** Harorati  $\sim 32^{\circ}\text{S}$  bo'lgan shisha taglik sirtida  $\text{C}_{70}$  molekulyar eritmasining bug'lanayotgan tomchisi hajmida sintezlangan  $\text{C}_{70}$  fulleren nanoviskerlari SEM tasviri [19].

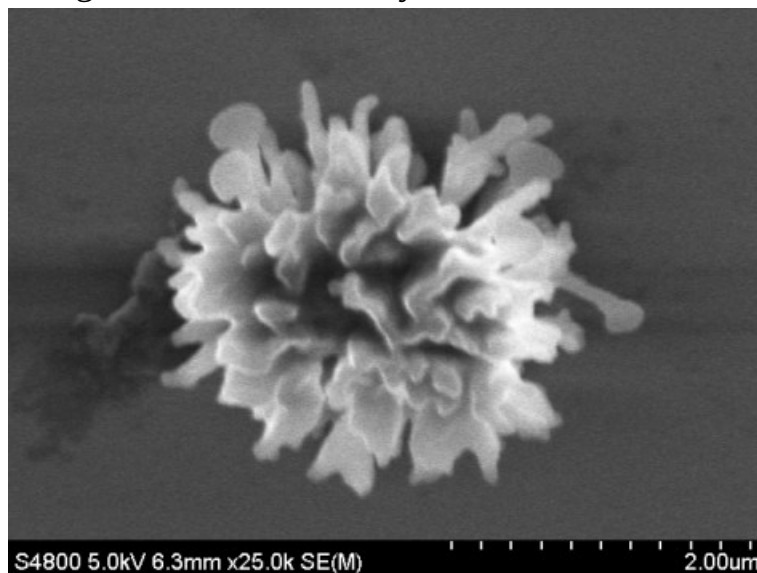
2-rasmda kremniy taglik sirtida joylashgan  $\text{C}_{70}$  eritmasi tomchisi hajmidan organik erituvchilar (mos ravishda 0,9:0,1 hajmdagi etilbenzol va izopropil spirtini) termik bug'lanishi bilan sintez qilingan  $\text{C}_{70}$  fullerenli nanoquvurlarning SEM tasviri berilgan. Bu holda  $\text{C}_{70}$  nanoquvurlarning o'rtacha uzunligi, tashqi va ichki diametrlari mos ravishda 900 nm, 520 nm va 310 nm ekanligi ko'rinib turibdi. Nanoquvurlarning bir uchi yopiq bo'lib, bizning fikrimizcha bu ularni nanotexnologiyalarning turli yo'nalishlarida, xususan nanokapillyarlar, nanoreaktorlar va nanosorbentlar sifatida funktsional ishlatish uchun qulay qiladi.



**2-rasm.** Xona haroratida kremniy taglikda fulleren tomchisi hajmida sintezlangan  $\text{C}_{70}$  fulleren nanoquvurining SEM tasviri

$C_{70}$  eritmasi tomchisida organik erituvchilarning rolini ko'rsatish uchun ularni yaxshi va yomon (yomon erituvchida fulleren yaxshi erituvchiga qaraganda kamroq eriydi) erituvchiga ajratib olinadi. Yaxshi erituvchi eritmasiga yomon erituvchi kiritilganda, yomon erituvchining muhitdagi ortiqcha miqdori erigan modda atrofida erituvchi qobig'ini buzadi. Ikkala erituvchi to'liq aralashtirilganda, o'sayotgan strukturalarning mos morfologiyasi sekin kristallanishga o'tadi. Tez va sekin kristallanishlar oxir-oqibatda bir xil strukturalar shakllarini hosil qiladi, lekin tez kristallanishda yomon erituvchidan foydalanish uni bir muncha vaqt ushlab turadi. Yomon erituvchining roli hozirgacha noma'lum, chunki birinchi bosqich juda tez sodir bo'ladi va umumiy morfologiyasi o'zgarmaydi. Biroq, izopropil spirti har bir bosqichning morfologiyasini ajrata oladi va uni aniqlashga imkon beradi. Shunday qilib, yomon erituvchining roli kutilganidan ko'ra ancha faolroq degan xulosaga kelish mumkin.

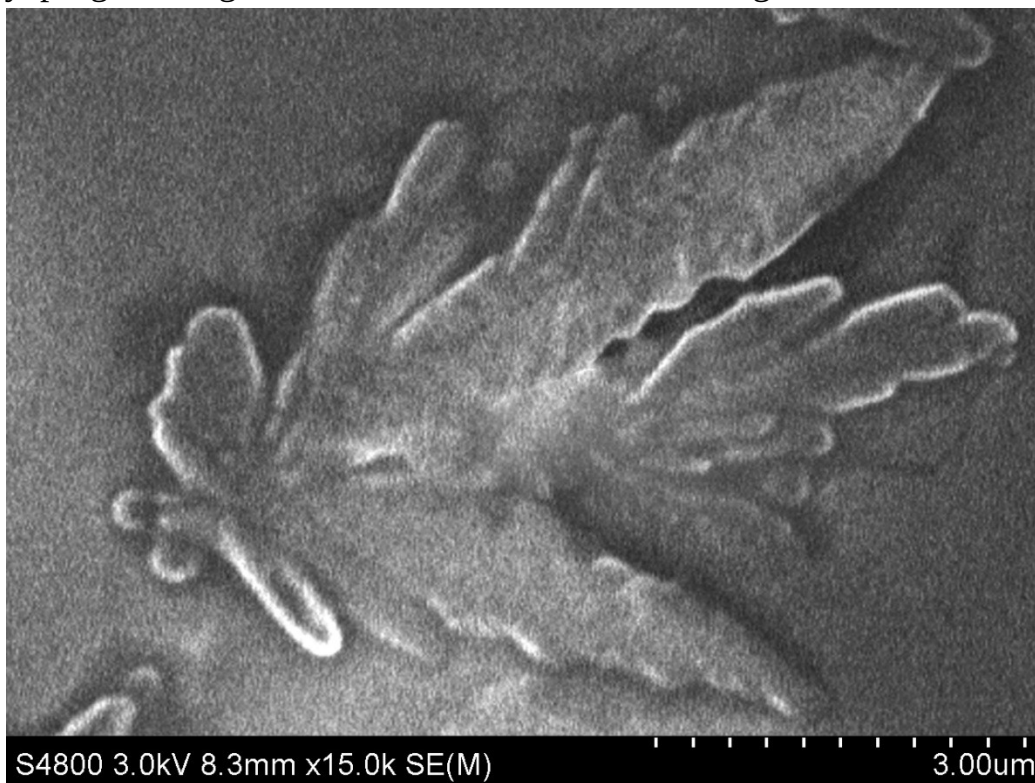
3-rasmda  $T \approx 30^\circ\text{S}$  haroratga qadar qizdirilgan silliq taglikda bug'lanayotgan  $C_{70}$  fulleren eritmasi tomchisi hajmida sintez qilingan  $C_{70}$  organik kristalli agregatlarining SEM tasviri ko'rsatilgan. Rasmdan ko'rinib turibdiki, organik erituvchi (toluol)  $C_{70}$  eritmasi tomchisi hajmidan bug'langanda kremniy taglik yuzasida (3-D) nanostrukturali gulsimon  $C_{70}$  agregatlari hosil bo'lgan. Shuni ta'kidlash kerakki,  $C_{70}$  strukturalarining tuzilishi kristalli bo'lib, faqat individual  $C_{70}$  fulleren molekulalaridan iborat. Bu holda ishlatilgan kremniy taglikning sirti o'rtacha g'adur-budurli  $\sim 10\text{ nm}$  dan oshmaydi.



**3-rasm.**  $30^\circ\text{S}$  haroratli taglik sirtida sintezlangan  $C_{70}$  fulleren asosli uch o'lchovli gulsimon nanostrukturalarning SEM tasviri. Eritmaning dastlabki konsentratsiyasi  $C_{70} \sim 1,2\text{ mg/ml}$ .

Eritmalarda sintez qilingan  $C_{70}$  fulleren nanoagregatlarining strukturaviy xususiyatlari ham, ularning boshqa fizik-kimyoviy xossalari ham ko'p jihatdan ularni sintez qilishda qo'llanilgan usuli xususiyatlari bilan belgilanadi. Qo'yidagi

4-rasmda  $T \approx 30^\circ\text{S}$  gacha qizdirilgan kremniy taglikning silliq yuzasida joylashgan  $\text{C}_{70}$  fulleren eritmasining bir tomchisi hajmidan organik erituvchilar (toluol/etanol, hajmiy ulushlari mos holda 0.8:0.2) bug'lanishi jarayonida sintez qilingan  $\text{C}_{70}$  fraktal organik agregatlaridan iborat mukammal bargsimon strukturalarining SEM tasviri keltirilgan. Ushbu murakkab struktura panjasimon barg turiga o'xshash shaklni eslatadi. Bargning uzunligi  $\sim 7.2$  mkm, eng katta yaprog'i uzunligi  $\sim 3.6$  mkm, eng kichik yaprog'i uzunligi esa  $\sim 1.2$  mkm ni tashkil etadi. Eng katta va eng kichik yaprog'larining eni mos ravishda  $\sim 750$  nm ekanligi ko'rinib turibdi.



**4-rasm.**  $\text{C}_{70}$  fulleren eritmasi tomchisi bug'lanishida sintez qilingan bargsimon nanostrukturasining SEM tasviri. Eritmaning dastlabki konsentratsiyasi  $\text{C}_{70} \sim 1,2$  mg/ml.

Turli xil turdagi erituvchilardan foydalanish oldindan o'stirilgan fulleren nanostrukturalarini yana boshqarish (o'lchami va qatlami jihatdan) va boshqacha xususiyatli nanostrukturalarga samarali aylantirishi mumkin. Bu jihat olinayotgan nanomateriallarini oldindan bashorat qilishda qo'shimcha imkoniyatlar ochadi. Bu bizning keyingi tadqiqotlarimiz uchun ajoyib maydon bo'lib xizmat qiladi.

### Xulosa

Nanotexnologiyada fullerenlar monoelementli va nol o'lchovli tabiatga ega oddiy hamda asosiy qurilish bloklari sifatida qaralishi mumkinligi sababli, ierarxik funksional strukturalar olish uchun asosiy nomzod hisoblanadi. Ushbu ish o'z natijalarimiz asosida qisqacha sharh bo'lib, unda  $\text{C}_{70}$  fullereni molekulalaridan bir

o'lchovli nanostrukturalar (nanoviskerlar va nanonaychalar), shuningdek murakkab strukturali (gulsimon va bargsimon) materiallar olish usullariga doir natijalar bayon etildi. Ushbu fulleren nanostrukturalari birinchi navbatda juda sodda usul, ya'ni tomchilar bug'lanishi orqali ishlab chiqariladi, bunda tajriba parametrlari o'zgartirilib nanostrukturalar o'lchovini oson va aniq boshqarish mumkinligi ko'rsatildi. Shuni ta'kidlash kerakki, sintez qilingan fulleren nanostrukturalari turli xil ilovalar uchun, jumladan, nanosensorlar, nanokonteynerlar va optik tizimlar sifatida samarali ishlatilishi mumkin.

Ushbu ish O'zbekiston Respublikasi Oliy ta'lim, fan va innovatsiyalar vazirligining FL-8323102108 "Uglerod asosidagi funksional nanomateriallarni sintezi va modifikatsiyasi, ularning atom zarralari bilan o'zaro ta'sirini tadqiq etish" loyihasi tomonidan qo'llab-quvvatlandi.

### Adabiyotlar

1. S. Maji, L.K. Shrestha, K. Ariga. Nanoarchitectonics for Hierarchical Fullerene Nanomaterials // Nanomaterials (Basel). - 2021. - Vol. 11(8), -pp. 2146. <https://doi.org/10.3390/nano11082146>
2. T.E. Saraswati, U.H. Setiawan, M.R. Ihsan, R. Mohammad, I. Isnaeni, Y. Herbani. The Study of the Optical Properties of C<sub>60</sub> Fullerene in Different Organic Solvents // Open Chemistry. - 2019. - Vol. 17 (1), - pp. 1198-1212. <https://doi.org/10.1515/chem-2019-0117>
3. S. Sachdeva, D. Singh, S.K. Tripathi. Optical and electrical properties of fullerene C<sub>70</sub> for solar cell applications // Optical Materials. - 2020. - Vol. 101, pp. 109717. <https://doi.org/10.1016/j.optmat.2020.109717>
4. S. Sepahvand, S. Farhadi. Preparation and characterization of fullerene (C<sub>60</sub>-modified bivo<sub>4</sub>/fe<sub>3</sub>o<sub>4</sub> nanocomposite by hydrothermal method and study of its visible light photocatalytic and catalytic activity // Fuller. Nanotub. Car. N. - 2018. - Vol. 26(7), - pp. 417-432. <https://doi.org/10.1080/1536383X.2018.1446423>
5. Q. Tang, L. Wang, Y. Liu, Y. Zhang, D. Ji. Solvent engineering of self-separating fullerene crystals for photodetectors // J. Mater. C. Chem. - 2024. - Vol. 12, - pp. 4208-4214. <https://doi.org/10.1039/D4TC00131A>
6. S.A. Bakhramov, U.K. Makhmanov, B.A. Aslonov. The Synthesis of C<sub>70</sub> Fullerene Nanowhiskers Using the Evaporating Drop Method // Condens. Matter. - 2023. - Vol. 8, - pp. 62. <https://doi.org/10.3390/condmat8030062>
7. L.K. Shrestha, Q. Ji, T. Mori, K. Miyazawa, Y. Yamauchi, J.P. Hill, K..Ariga. Fullerene nanoarchitectonics: from zero to higher dimensions // Chem Asian J. - 2013. - Vol. 8(8), - pp. 1662-79. <https://doi.org/10.1002/asia.201300247>

8. L. Zang, Y. Che, J.S. Moore. One-dimensional self-assembly of planar pi-conjugated molecules: adaptable building blocks for organic nanodevices // *Acc Chem Res.* - 2008. - Vol. 41(12), - pp. 1596-608. <https://doi.org/10.1021/ar800030w>
9. T. Xu, W. Shen, W. Huang, X. Lu. Fullerene micro/nanostructures: controlled synthesis and energy applications // *Materials Today Nano.* - 2020. - Vol. 11, - pp. 100081. <https://doi.org/10.1016/j.mtnano.2020.100081>
10. N.O. Mchedlov-Petrosyan. Fullerenes in molecular liquids. Solutions in “good” solvents: Another view // *J. Mol. Liq.* - 2011. - Vol. 161, - pp. 1–12. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2011.04.001>
11. C. Park, E. Yoon, M. Kawano, T. Joo, H.C. Choi. Self-crystallization of C<sub>70</sub> cubes and remarkable enhancement of photoluminescence. *Angew. Chem. Int. Ed.* - 2010. - Vol. 49, - pp. 9670–9675. <https://doi.org/10.1002/anie.201005076>
12. J. Kim, C. Park, H. Choi. Selective Growth of a C<sub>70</sub> Crystal in a Mixed Solvent System: From Cube to Tube. *Chem. Mater.* - 2015. - Vol. 27, - pp. 2408–2413. <https://doi.org/10.1021/cm5044478>
13. U. K. Makhmanov, A. M. Kokhkharov, S.A. Bakhramov. Self-organization of fullerene C<sub>60</sub> molecules in volume of evaporating droplets // *Ўзбекский физический журнал.* - 2018. - Т. 20 (№5), - СС. 309-314. <https://doi.org/10.52304/v20i5.123>
14. U.K. Makhmanov, A. M. Kokhkharov, S.A. Bakhramov. Organic fractal nano-dimensional structures based on fullerene C<sub>60</sub> // *Fullerenes, Nanotubes and Carbon Nanostructures.* - 2019. - Volume: 27, - Issue: 03, - pages 273 - 278. <https://doi.org/10.1080/1536383X.2019.1570922>
15. С.А. Бахрамов, У.К. Махманов, А.М. Коххаров, Э.А. Захидов, М.М. Каххаров, Д. Эртс. Синтез и исследование морфологических особенностей нанопористых структур на основе фуллерена C<sub>60</sub> // *Доклады академии наук РУз.* - 2019. - №3, - СС. 38-42.
16. S.A. Bakhramov, U.K. Makhmanov, A.M. Kokhkharov. Synthesis of nanoscale fullerene C<sub>60</sub> filaments in the volume of an evaporating drop of a molecular solution and preparation of thin nanostructured coatings on their basis // *Applied Solar Energy.* - 2019. - Vol. 55, - No. 5, - pp. 309–314. <https://doi.org/10.3103/S0003701X19050049>
17. U.K. Makhmanov, A.M. Kokhkharov, S.A. Bakhramov, D. Erts. The formation of self-assembled structures of C<sub>60</sub> in solution and in the volume of an evaporating drop of a colloidal solution // *Lithuanian Journal of Physics.* - 2020, - Vol. 60. - No. 3, - pp. 194–204. <https://doi.org/10.3952/physics.v60i3.4306>

18. S.A. Bakhramov, A.M. Kokhkharov, U.K. Makhmanov. Thin semiconductor films of fullerene  $C_{70}$  nanoaggregates on the surface of a plane glass substrate // Applied Solar Energy. - 2018. - Vol. 54, - No. 3, - pp. 164–167.  
<https://doi.org/10.3103/S0003701X18030052>
19. U.K. Makhmanov, S.A. Esanov, B.A. Aslonov, Z. Bekmurodov, K.N. Musurmonov, A. Shukurov, A.M. Kokhkharov. Controlling the size of  $C_{70}$  fullerene whiskers by evaporation of solution droplets // Romanian Journal of Physics. - 2023. - Vol. 68, - No. 7-8, - pp. 616 (1-9).  
<https://doi.org/10.59277/RomJPhys.2023.68.616>