

Shohboz ESANOV,

Ion plazma va lazer texnologiyalari instituti tayanch doktoranti

Email: sh_esanov@yahoo.com

Bobir ASLONOV,

Ion plazma va lazer texnologiyalari instituti tayanch doktoranti,

Akbar SHUKUROV,

Ion plazma va lazer texnologiyalari instituti katta ilmiy xodimi

Urol MAXMANOV

Ion plazma va lazer texnologiyalari instituti, "Optika va spektroskopiya" laboratoriyasi mudiri, f.-m.f.d.

Taqrizchi: Mirzo Ulug'bek nomidagi O'zbekiston Milliy universiteti professori, f.-m.f.d. Otajonov Sh.

BIR O'LCHOVLI C₇₀ FULLEREN NANOSTRUKTURALARINING SINTEZI

Аннотация

Ushbu ishda gorizontal shisha taglik sirtida C₇₀ molekular eritmasining bug'lanayotgan tomchisi hajmida bir o'lchovli filamentli kristalli nanoviskerlarini sintez qilish va ularning geometrik o'lchamlarini nazorat qilish usullari tadqiq etildi. C₇₀ nanoviskerlar geksagonal shaklda yig'ilishga moyilligi, ularning geometrik o'lchamlari va morfologiyasini ham dastlabki tomchidagi C₇₀ fullerenning konsentratsiyasini yoki taglik haroratini o'zgartirish orqali boshqarish mumkinligi aniqlandi.

Kalit so'zlar: C₇₀ fulleren, eritma tomchisi, bug'lanish, nanovisker, morfologiya, elektron mikroskop.

СИНТЕЗ ОДНОМЕРНЫХ НАНОСТРУКТУР ФУЛЛЕРЕНА C₇₀

Аннотация

В данной работе исследованы методы синтеза одномерных нитевидных кристаллических нановискеров в объеме испаряющейся капли молекулярного раствора C₇₀ на поверхности горизонтальной стеклянной подложки и методы контроля их геометрических размеров. Установлено, что нановискеры C₇₀ склонны собираться в гексагональную форму, а их геометрическими размерами и морфологией можно управлять, как изменяя концентрацию фуллерена C₇₀ в исходной капле, так и температуру подложки.

Ключевые слова: Фуллерен C₇₀, капля раствора, испарение, нановискер, морфология, электронный микроскоп.

SYNTHESIS OF ONE-DIMENSIONAL FULLERENE C₇₀ NANOSTRUCTURES

Аннотация

In this work, methods of synthesis of one-dimensional filamentary crystalline nanowhiskers in the volume of evaporating drop of a C₇₀ molecular solution on the surface of a horizontal glass substrate and methods for controlling their geometric dimensions were investigated. It has been established that C₇₀ nanowhiskers tend to assemble in a hexagonal shape, and their geometric dimensions and morphology can be controlled by both changing the concentration of C₇₀ fullerene in the initial droplet or the substrate temperature.

Keywords: Fullerene C₇₀, solution drop, evaporation, nanowhiskey, morphology, electron microscope

Kirish. Hozirgi vaqtda ilm-fan va texnologiyalarning rivojlanishi bilan mikro- va nanoelektronika, quyosh energiyasi, biotibbiyot, farmakologiya, fotonika va nanotexnologiyalarda foydalanish uchun nanostrukturali materiallarga bo'lgan talab ortib bormoqda [1-3]. Xususan, fullerenlar (C₆₀ va C₇₀) molekularidan turli xil organik va noorganik erituvchilardagi eritmalarida yangi va murakkab nanomateriallarni sintez qilishning yangi boshqariladigan usullarini yaratishga qiziqish yanada kuchaydi. O'rta diametri <1 nm bo'lgan kvazisferik shakldagi C₇₀ fullereni organizmga zararsiz, antibakterial va yarimo'tkazgich xususiyatlarga ega hisoblanadi [4]. Bu xususiyatlar fullereni antibakterial vositalarda, kosmetika va farmatsevtika qo'shimchalarida, moylash materiallari komponentlari sifatida, turli gazlarni (xususan, vodorodni) saqlashda, yangi turdagi quyosh panellari va elektron qurilmalar elementlari sifatida foydalanish imkonini yaratadi [5-8].

Hozirgi vaqtda yarimo'tkazgich xususiyatli bir o'lchovli nanostrukturalar fan va texnikaning turli jabhalarida keng imkoniyatli materiallar sifatida qaralmoqda [9-10]. Bir o'lchovli nanostrukturalarni sintez qilishning bug' fazada cho'ktirish, molekulyar nur dastasi bilan o'stirish, magnetronda o'stirish, yuqori vakuumda kimyoviy o'stirish, materiallar yuzasini lazer nuri ta'sirida va tezlashtirilgan diffuziyada o'stirish kabi usullari [11-14] mavjud bo'lsada, bu usullar ko'p energiya va vaqt talab qiluvchi, texnik jihatdan esa murakkab hisoblanadi.

Shu bilan birga, fullerenlar asosida bir o'lchovli nanostrukturalarni olish, ularning o'sish mexanizmlari va xususiyatlarini tadqiq qilishga doir ilmiy natijalar natijasida ularni sintez qilishning to'yingan eritmani bug'latish, tezlashtirilgan diffuziya va erituvchilar aralashmasini kimyoviy cho'ktirish kabi usullari ishlab chilgan [15-16]. Fulleren asosli bir o'lchovli supramolekular nanomateriallar (diametri <100 nm) sifatida nanoviskerlar deb ataluvchi strukturalarni ham nazarda tutish mumkin. Binobarin, hozirda nanotexnologiyalarning yanada rivoji uchun C₇₀ fulleren asosida yarimo'tkazgichli nanoviskerlar olishning arzon va samarali usullarini ishlab chiqish zarurati mavjud.

Ushbu ishning maqsadi C₇₀ fullerenning bug'lanayotgan eritmasi tomchisi hajmida filamentli nanoviskerlarni sintez qilish va ularning geometrik o'lchamlarini boshqarishdan iborat.

Tadqiqot metodi va reagentlar. Tajribalarda C₇₀ fulleren kristall kukuni (sofligi >99,8%) va organik erituvchi ortoksiloidan (C₈H₁₀) 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.

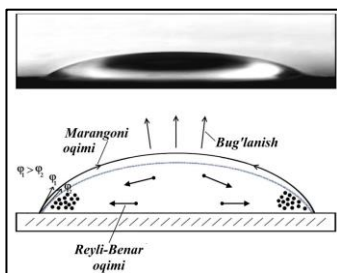
Germetik yopilgan shisha kolbada "ortoksiloid+C₇₀ kukuni" aralashmasi laboratoriya magnit aralashtirgichi (WIGO MS-11H, Polsha) yordamida 1.5 soat davomida ~ 2.5 Gs chastotada uzluksiz mexanik aralashtirish orqali eritildi. So'ngra, C₇₀ eritmasi ultratovushli vannada (DC-120H) yordamida 15 daqiqa davomida ultratovushli ta'sir o'tkazildi. C₇₀ molekulyar eritmasining tomchilari pipet dozator (VITLAB GmbH, Germaniya) yordamida aniq hajmlarda olib tajribalarda foydalanilgan.

Sintez qilingan C₇₀ fulleren nanoviskerlarining morfologik va o'lchamli xususiyatlarini aniqlash uchun yuqori aniqlikdagi skanerlovchi elektron mikroskopidan (JSM-IT200, Yaponiya) foydalanildi. C₇₀ fulleren nanoviskerlarining hosil

bo'lishi va keyinchalik o'sishining fizik mexanizmlarini o'rganish uchun tasvirlarni uzluksiz yozib oluvchi raqamli kamera bilan jihozlangan, $\times 1000$ kattalashtirish imkoniyatiga ega optik binokulyar mikroskopidan (Motic V1-220A, Ispaniya) foydalanildi.

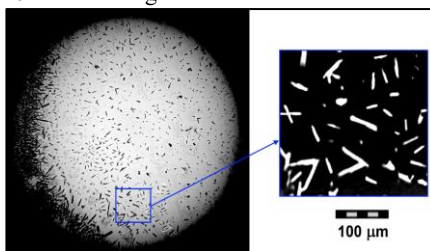
Olingan natijalar va ularning muhokamasi. C_{70} fulleren eritmasining bug'lanayotgan tomchisi hajmida sodir bo'ladigan fizik jarayonlar ko'p jihatdan ishlatiladigan erituvchi turi, eritmadagi fulleren konsentratsiyasi va taglik haroratiga bog'liq [17]. Taglik sirtida hosil bo'luvchi nanostrukturalarning strukturaviy va o'chamli xususiyatlarini keltirilgan parametrlar bilan boshqarish mumkin.

C_{70} fulleren molekulyar eritmasining tomchilari mikropipetka yordamida taglik sirtiga o'tkazildi va bunda tomchilar erituvchi to'liq bug'lanib ketguncha tashqi ta'sirlardan himoyalangan. Taglik sirtidagi ishchi eritma tomchisi yarim shar shaklini oladi (1-rasm). Shuni ta'kidlash mumkinki, taglik sirtidagi C_{70} eritmasi tomchisi bug'lanishi davomida tomchilar asosining doimiy yuzasini saqlab qolib, tomchining kontakt burchagi (φ) esa asta-sekin 0 (nol) gradusgacha pasayadi. Erituvchining tomchidan bug'lanish yo'nalishi tomchi sirtining har bir nuqtasiga ortogonal hisoblanadi. Tomchi bug'lanishida uning hajmi va sirt qatlamlarida harakatlantiruvchi kuchlar (Marangoni va Reyli-Benar) kuchli kapillyar oqimlarni yuzaga keltiradi. Natijada taglik sirtida fulleren molekularining o'zaro to'qnashib birlashishlaridan ular asosida turli nanostrukturalar hosil bo'ladi. Tomchidan organik erituvchining bug'lanishi tugagandan so'ng, standart taglik sirtida konsentrik bo'lmagan halqa shaklidagi tuzilmalar hosil bo'ladi, ularning paydo bo'lishi fulleren zarrachalarining o'z-o'zidan yig'ilishi bilan izohlanishi mumkin.



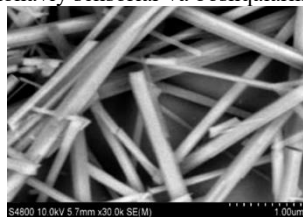
1-rasm. Shisha taglik sirtidagi C_{70} eritmasi mikrotomchisi (diametri ~ 5 mm) tasviri (tepada) va bug'lanayotgan tomchi ichida paydo bo'ladigan oqimlarning sxematik tasviri (pastda)

2-rasmda shisha taglik sirtida ($\sim 28^\circ\text{C}$ haroratgacha qizdirilgan) yangi tayyorlangan C_{70} fulleren molekulyar eritmasi tomchisidan ortoksilolning bug'lanishida sintezlangan C_{70} nanostrukturalarining optik binokulyar mikroskopda olingan tasviri keltirilgan. Bu holda tomchining asosi bo'ylab "qahva halqasi"ga o'xshash C_{70} nanostrukturalarining zich izi (2-rasmga qarang) qolgan bo'lib, erituvchining kuchli bug'lanishi natijasida sirt va sirtga yaqin qatlamlarining keskin sovishi (harorat gradiyenti) nanostrukturalarning shakllanishi bilan bog'liq bo'lgan ba'zi energiya qiyinchiliklarini yengib o'tishga imkon beradi. Rasmdan ko'rinib turibdiki, sintez bo'lgan C_{70} fulleren strukturasi o'rta uzunligi va kengligi mos holda ~ 50 mkm va ~ 10 mkm bo'lgan nanovisker shakliga ega. Eng uzun viskerning uzunligi ~ 68 mkm, kengligi ~ 16 mkm ekanligini ko'rish mumkin.



2-rasm. Shisha taglik sirtida ortoksiloldagi C_{70} molekulyar eritmasining (eritmadagi fulleren C_{70} konsentratsiyasi $\sim 3,5 \cdot 10^{-3}$ mol \cdot l $^{-1}$) bug'langan tomchisi hajmida sintez qilingan bir o'lchovli strukturalarining optik mikroskopik tasviri

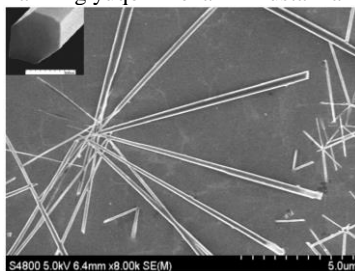
Keyingi bosqichda sintez qilingan C_{70} viskerlarining morfologik va geometrik xususiyatlarini skanerlovchi elektron mikroskop (SEM) yordamida tadqiq qilindi. 3-rasmda ortoksilolning to'liq tabiiy bug'lanishidan so'ng C_{70} eritmasining izolyatsiyalangan tomchisi hajmida sintez qilingan nanoo'lchamli filamentli kristalli viskerlarning SEM tasviri keltirilgan. Bu holda eritmaning boshlang'ich tomchisidagi C_{70} fulleren konsentratsiyasi $\sim 1,25 \cdot 10^{-3}$ mol \cdot l $^{-1}$ ni tashkil etadi. Shuni ta'kidlash kerakki, tomchi bug'lanishida uning hajmi va sirt qatlamlarida paydo bo'ladigan kuchli kapillyar oqimlar natijasida bevosita fulleren zarralarining o'z-o'zidan yig'ilishi va C_{70} filamentlarining sintezi boshlanadi. 3-rasmda olingan C_{70} filamentlarining yuzasi molekular tekis va ularning diametrlari $\sim 40 \pm 200$ nm oralig'ida ekanligi aniqlandi. Natijalar C_{70} nanoviskerlarining o'lchamlarini eritmadagi fullerenning dastlabki konsentratsiyasini o'zgartirish orqali o'zgartirish mumkinligini ko'rsatdi. Shuni alohida aytib o'tishimiz kerakki, fulleren C_{70} filamentlarining sirt notekisligi < 8 nm bo'lganligi ularni yuqori samarali nano va mikro o'lcholi fotovoltaiik tranzistorlar, zamonaviy sensorlar va boshqalarni ishlab chiqarish uchun eng samarali qiladi.



3-rasm. Taglik sirtida C_{70} molekulyar eritmasining bug'langan tomchisi hajmida ($T \approx 28^\circ\text{C}$) sintez qilingan nanoviskerlarning SEM tasviri

4-rasmda gorizontaal joylashgan shisha taglikning tekis sirtida joylashgan $T \approx 32^\circ\text{C}$ ga qadar qizdirilgan C_{70} fulleren molekulyar eritmasining bir tomchisidan erituvchining bug'lanishi natijasida olingan C_{70} nanoviskerlarning SEM tasviri keltirilgan. Eritmaning bir tomchisida C_{70} ning belgilangan ($1,8 \cdot 10^{-3}$ mol \cdot l $^{-1}$) konsentratsiyasida taglik haroratining oshishi nafaqat kristalli nanoviskerlarning hosil bo'lishi va o'sishining tezlashishiga olib keldi, balki sintezlangan nanoviskerlarning

geometrik o'lchamlari sezilarli darajada o'sadi. Tajribalar natijalariga ko'ra C_{70} viskerlarining maksimal uzunligi ~10 mkm va diametri ~0,55 mkm qiymatlarga ega bo'lib (4-rasm), nanoviskerlarning o'lchamini ishchi eritmada doimiy C_{70} konsentratsiyasida taglik haroratini o'zgartirish orqali nazorat qilish mumkinligini isbotladi. Shuni ta'kidlash kerakki, shisha taglikda tomchi bug'lanishi vaqtida fulleren nanozarrachalarining o'z-o'zidan yig'ilishi tufayli C_{70} nanoviskerlarining shakllanishi olti burchakli tartib bilan sodir bo'ladi. Haqiqatdan ham C_{70} nanoviskerlarining ko'ndalang kesimi yuzasi olti burchakli shaklga ega (4-rasmga qarang). Shubhasiz, fulleren nanostrukturali viskerlar supramolekular tuzilmalar bo'lib, ularda Van-der-Vaals va elektrostatik kuchlar bilan bog'langan fulleren molekulari asosiy rol o'ynaydi. Bu holda, kollektiv molekulararo o'zaro ta'sirlar C_{70} nanoviskerlarining yuqori mexanik mustahkamligini ta'minlaydi.



4-rasm. Harorati $T \approx 32^\circ \text{C}$ bo'lgan shisha taglik sirtida C_{70} molekulyar eritmasining bug'lanayotgan tomchisi hajmida sintezlangan C_{70} fulleren nanoviskerlarining SEM tasviri

Olingan bir o'lchovli nanostrukturali fulleren tarkibli materiallar turli yarimo'tkazgichli qurilmalar, gibrid fotovoltaiq qurilmalar, o'ta sezgir datchiklar va boshqalarni yaratishda amaliy qo'llanilishini mumkin. Shuningdek, gorizontalk tekis taglik sirtida fulleren eritmalarini tomchisidan turli nanostrukturalar va ular asosida yuqqa qatlam olish ancha tejamkor va samarali usul hisoblanadi [18].

Xulosa. Shisha taglik sirtida joylashgan C_{70} fulleren eritmalarini tomchilaridan orto-ksilolning bug'lanish jarayonida C_{70} molekulari o'z-o'zini tashkil qilishiga asoslangan nano va mikro o'lchamdagi viskerlarni sintez qilish usuli taklif qilindi va amalga oshirildi. Sintezlangan nanoviskerlarning geometrik o'lchamlari va morfologiyalarini eritmada C_{70} fullerenining dastlabki konsentratsiyasini o'zgartirish orqali yoki taglik haroratini o'zgartirish orqali nazorat qilish mumkinligi ko'rsatilgan. Buning asosida fulleren nanoviskerlarining selektiv sintezi amalga oshirildi. Ushbu ish natijalari nano- va mikroelektronika, quyosh batareyasi, chiziqli bo'lmagan optika, sensorlar va elektromexanika kabi ilovalarda katta imkoniyatlarga ega bo'lgan nanostrukturali viskerlarning geometrik o'lchamlarini bashorat qilish va nazorat qilish uchun ishlatilishi mumkin.

ADABIYOTLAR

1. N. Rao, R. Singh, L. Bashambu, *Materials Today: Proceedings*, 44, 608–614 (2020).
2. N. Baig, I. Kammakam, W. Falath, *Materials Advances*, 2 (№6), 1821–1871 (2021).
3. D. Jović, V. Jačević, K. Kuča, I. Borišev, J. Mrdjanovic, D. Petrovic, A. Djordjevic, *Nanomaterials*, 10 (№8), 1508 (2020).
4. U.K. Makhmanov, A.M. Kokhkharov, S.A. Bakhranov, and D. Erts, *Lith. J. Phys.* 60, 194–204 (2020).
5. H. Aoshima, K. Kokubo, S. Shirakawa, M. Ito, S. Yamana, T. Oshima, *Biocontrol Science*, 14 (№2), 69–72 (2009).
6. P. Kamla, K. Manish, M. Shashi Kiran, K. Beena, K. Nikita, *Micro and Nano Technologies*, 263–285 (2023).
7. A.V. Penkova, S.F.A. Acquah, L.B. Piotrovskiy, D.A. Markelov, A.S. Semisalova, H.W. Kroto, *Russ. Chem. Rev.*, 86 (№6), 530–566 (2017).
8. E. Castro, A.H. Garcia, G. Zavala, L. Echegoyen, *Journal of Materials Chemistry B*, 5 (№32), 6523–6535 (2017).
9. Z. Zhenyu, Z. Rujia, Y. Li, and H. Junqing, *Critical Reviews in Solid State and Materials Sciences*, 36, 148–173 (2011).
10. A. Machin, K. Fontánez, J.C. Arango, D. Ortiz, J. De León, S. Pinilla, F. Márquez, *Materials*, 14(№10), 2609 (2021).
11. M. Suzuki, K. Hamachi, H. Hideki, K. Nakajima, K. Kimura, C.-W. Hsu, and L.-J. Chou, *Appl. Phys. Lett.*, 99, 223107 (2011).
12. Z. Tang, Y. Han, M. Sun, X. Li, G. Wu, S. Gao, Q. Chen, L. Peng, and X. Wei, *Appl. Nano Mater.*, 1, 3035–3041 (2018).
13. M. Xia, G. Hong-Yan, and I.H. Muhammad, *Appl. Sci.* 10, 252–261 (2020).
14. D.S. Correa, P. Almeida, F.B. Almeida, R. Cardoso, L. De Boni, and C.R. Mendonça, *Photonics*, 4, 4010008 (2017).
15. V.A. Nebol'sin and A. A. Shchetinin, *Inorganic Materials*, 39 (№ 9), 899–903 (2003).
16. M. Knez, *Semiconductor Science and Technology*, 27 (№7), 074001 (2012).
17. S.A. Bakhranov, U.K. Makhmanov, B.A. Aslonov, *Condensed Matter*, 8 (№3), 62–71 (2023).
18. U.K. Makhmanov, A.M. Kokhkharov, S.A. Bakhranov, S.A. Esanov, *Rom. J. Phys.*, 67 (№ 1-2), 601–609 (2022).