UO‘K 546.26.043:535

“SPRAY COATING” USULI YORDAMIDA C_{60} FULLERENI YUPQA QATLAMINI HOSIL QILISH VA UNING OPTIK XOSSALARI TADQIQI

Maxmanov Urol Kudratovich,
O‘zbekiston Respublikasi Fanlar akademiyasi,
Ion-plazma va lazer texnologiyalari instituti “Nanomateriallar fotonikasi va spektroskopiyasi” laboratoriyasi mudiri,
fizika-matematika fanlari doktori, professor
urolmakh@gmail.com
https://orcid.org/0000-0002-7185-2812
Musurmonov Qayum Nemat o‘g‘li,
O‘zbekiston Respublikasi Fanlar akademiyasi
Ion-plazma va lazer texnologiyalari
instituti kichik ilmiy xodimi
musurmonovqayum@gmail.com
Aslanov Bobirjon Ashur o‘g‘li
O‘zbekiston Respublikasi Fanlar akademiyasi,
Ion-plazma va lazer texnologiyalari
instituti tayanch doktoranti
aslonovbobir@mail.ru
Nematov Vohid Farmonqul o‘g‘li
Guliston davlat universiteti o‘qituvchisi
nematovabduvohid@gmail.com

Annotatsiya. *Ushbu maqolada fulleren C_{60} asosidagi yupqa qatlamlar spray coating usuli yordamida tayyorlandi va ularning optik hamda strukturaviy xossalari o‘rganildi. C_{60} kukuni ksilolda eritilib, hosil qilingan eritma shisha taglikka spray coating usuli bilan qoplandi. Olingan qatlamning yutilish spektrlari UV–Vis spektroskopiyasi yordamida tadqiq qilindi. Natijalar yutilish maksimumi 340 nm atrofida kuzatilganini ko‘rsatdi. Yutilish spektri asosida yutilish koeffitsiyenti hisoblandi hamda Tauc usuli yordamida qatlamning optik taqiqlangan soha kengligi 2.4 eV ga teng ekanligi aniqlandi.*

Kalit so‘zlar*: fulleren C_{60}, spray coating, yupqa qatlam, yutilish spektri, Raman spektroskopiyasi, optik taqiqlangan soha.*

PREPARATION OF C_{60} FULLERENE THIN FILMS BY SPRAY COATING AND INVESTIGATION OF THEIR OPTICAL PROPERTIES

Abstract*. In this study, C_{60} fullerene-based thin films were prepared using the spray coating technique, and their optical and structural properties were investigated. C_{60} powder was dissolved in xylene, and the resulting solution was deposited onto a glass substrate by the spray coating method. The absorption spectra of the prepared thin films were measured using UV–Vis spectroscopy. The results showed an absorption maximum at approximately 340 nm. Based on the absorption spectra, the absorption coefficient was calculated, and the optical band gap of the thin film was determined to be 2.4 eV using the Tauc method..*

Keywords*: C_{60} fullerene, spray coating, thin film, absorption spectrum, Raman spectroscopy, optical band gap.*

ПОЛУЧЕНИЕ ТОНКИХ ПЛЁНОК ФУЛЛЕРЕНА C_{60} МЕТОДОМ РАСПЫЛИТЕЛЬНОГО НАНЕСЕНИЯ И ИССЛЕДОВАНИЕ ИХ ОПТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ

Аннотация. *В данной статье тонкие плёнки на основе фуллерена C_{60} были получены методом spray coating, а также исследованы их оптические и структурные свойства. Порошок C_{60} был растворён в ксилоле, после чего полученный раствор был нанесён на стеклянную подложку методом spray coating. Спектры поглощения полученных плёнок были исследованы с помощью УФ–видимой (UV–Vis) спектроскопии. Результаты показали наличие максимума поглощения в области около 340 нм. На основе спектров поглощения был рассчитан коэффициент поглощения, а методом Таука (Tauc) установлено, что ширина запрещённой зоны исследуемой плёнки составляет 2,4 эВ.*

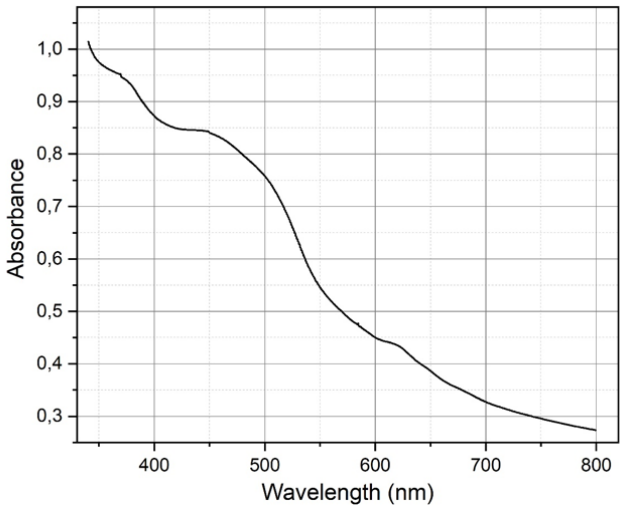
Ключевые слова: *фуллерен C_{60}, spray coating, тонкая плёнка, спектр поглощения, спектроскопия комбинационного рассеяния (Раман-спектроскопия), ширина запрещённой зоны.*

Kirish. Fulleren molekulalari o‘zining noyob xususiyatlari bilan uzoq yillardan beri ilmiy jamoatchilikning e’tibor markazida bo‘lib kelmoqda. Aynan shu xususiyatlari bilan bu molekulalar elektronika, yuqori o‘zkazuvchanlikka ega materiallar, tibbiyot, farmatsevtika va shu kabi bir qancha zamonaviy sohalarda keng qo‘llaniladi [1-5]. Kroto va uning jamoasi tomonidan kashf [6] qilingan fulleren C_{60} molekulalari eng keng tarqalgan va olimlar tomonidan eng ko‘p o‘rganilgan fulleren hisoblanadi. Ilmiy tadqiqot natijalarining ko‘rsatishicha, qattiq holatdagi C_{60} supero‘tkazuvchanlik, fotopolimerlanish va nochiziqli optik xossalar kabi ko‘plab noodatiy xususiyatlarga ega [7-8]. Modifikatsiyalangan fullerenlarning optik spektrlarini shakllantirishda elektron–fonon o‘zaro ta’siri asosiy omillardan biri hisoblanadi. C_{60} fullerenlarida spektrdagi keskin o‘zgarishlar molekulalarning orientatsion tartiblanishi hamda bosim ta'sirida yuz beradigan strukturaviy o‘zgarishlar bilan bog‘liq. Raman spektroskopiyasi ushbu jarayonlarni vibratsion modalar orqali aniqlash va tahlil qilish imkonini beradi [9-10]. Qattiq holatdagi C_{60} yupqa qatlamlari, an’anaviy organik molekulalarga nisbatan yuqori barqarorlikka ega ekanligi va nisbatan kuchli molekulalararo o‘zaro ta’siri tufayli molekulayar qatlamlar fizikasi hamda texnologiyasi uchun keng imkoniyatlar ochib beradi. Shu boisdan ko‘plab olimlar molekulayar C_{60} ning optik xossalarini batafsil o‘rganib chiqqanlar [11-12].

Fulleren molekulalarini taglik ustida o‘stirishning bir qancha usullari ishlab chiqilgan bo‘lishiga qaramasdan “spray coating” usuli yordamida tayyorlangan C_{60} qatlamlarining optik va strukturaviy xossalari hali ham tadqiqotchilar e’tiborini tortib kelmoqda. Shu sababdan, ushbu ishda biz spray coating usuli bilan hosil qilingan C_{60} yupqa qatlamlarning optik va strukturaviy xossalarini o‘rganib chiqdik. Buning uchun UV-Vis yutulish va Raman spektroskopiyasi usullaridan foydalanib, qatlamning yutilish xususiyatlari, optik taqiqlangan soha kengligi va Raman spektrini tahlil qildik.

Metod va qurilmalar. Tadqiqot obyekti sifatida 99.9% tozalikka ega fulleren C_{60} kukunidan (Sigma Aldrich, AQSH), erituvchi sifatida esa ksiloldan (Sigma Aldrich, AQSH) foydalanildi. Eritma 2 mg/ml konsentratsiyada tayyorlandi va maxsus magnitli laboratoriya aralashtirgichi (MS-H280, Xitoy) yordamida 2 soat davomida, xona haroratida aralashtirib turildi. Tayyor bo‘lgan eritma havo kompressoriga (2 bar) ulangan maxsus nebulizator (Meinhard nebulizer TR-30-K1, Xitoy) yordamida shisha taglik yuzasiga sepildi. Spray coating parametrlari va eritma konsentratsiyasiga asoslangan hisob-kitoblarga ko’ra, hosil qilingan C_{60} yupqa qatlam qalinligi taxminan 35-40 nm deb baholandi. Sepish jarayoni bir necha bosqichli bo‘lib, barcha bosqichlarda taglik harorati 70◦C holatda ushlab turildi. Qatlamning yutilish spektri Shimadzu UV-2700 (Yaponiya) spektrofotometri yordamida o‘lchandi. Raman spektrlari esa In Via Raman spektrometri (Renishav, UK) yordamida o‘lchandi.

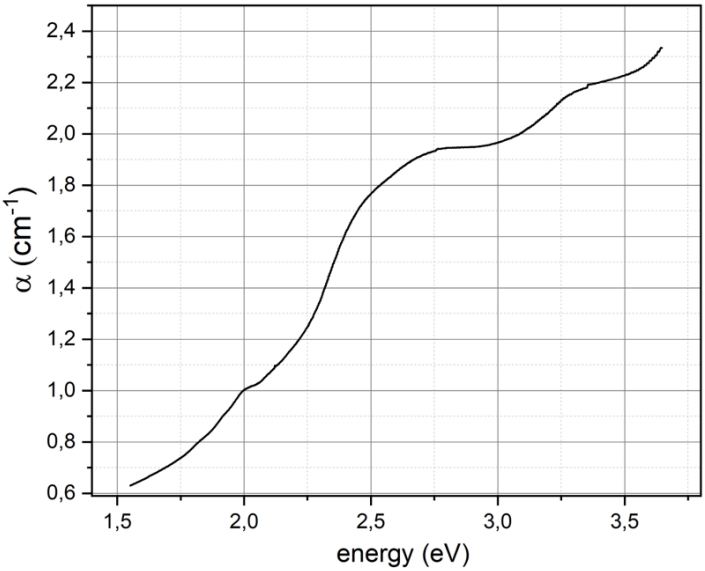
Natijalar va ularning muhokamasi. 1-rasmda spray coating usuli yordamida shisha taglik ustida o‘stirilgan C_{60} qatlamining UV-Vis yutilish spektri (300-800 nm) ko‘rsatilgan. Spektrdan ko‘rinadiki, qatlam UV sohasida yuqori yutilish qiymatiga ega va bu qiymat to‘lqin uzunligi ortishi bilan asta sekin kamayib boradi. Spektrning 350-450 nm oralig‘ida kuchli yutilish kuzatiladi, bu holat C_{60} molekulasiga xos bo‘lgan π-π^* o‘tishlari bilan bog‘liqdir. Bu soha fullerenning elektron tuzilmasi va yuqori simmetriyali molekulyar orbitalar orasidagi o‘tishlarni aks ettiradi.



1-rasm. Spray coating usuli yordamida shisha taglikda o‘stirilgan C_{60} qatlamining UV-Vis yutulish spektri

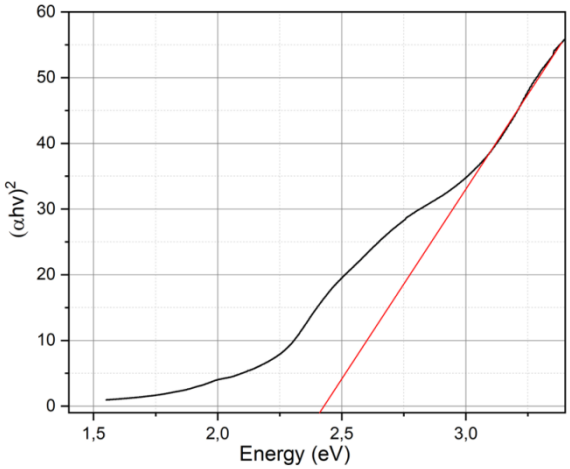
Ko‘zga ko‘rinadigan sohada, ya’ni 500-650 nm oralig‘ida yutilish qiymatining keskin kamayishini ko‘rishimiz mumkin. Bu holat materialda optik yutilish chegarasining mavjudligini va yarim o‘tkazgich xossasiga ega ekanligini ko‘rsatatdi. 700-800 nm oralig‘ida esa yutilish qiymati past bo‘lsada, nolga teng emas. Bu holat qatlam ichida tartibsizlik, lokal holatlar yoki deffektlar mavjdligi bilan bog‘liq bo‘lishi mumkin. Umuman olganda, olingan UV-Vis spektri spray coating usuli yordamida hosil qilingan C_{60} qatlamining optik xossalari adabiyotlarda keltirilgan natijalar [13] bilan mos kelishini va materialning yarim o‘tkazgich tabiatga ega ekanligini tasdiqlaydi.

Yutilish koeffitsiyentining (α) foton energiyasiga bog‘liqlik grafigi shuni ko‘rsatdiki, energiya ortib borishi bilan materialning yorug‘likni yutish qobilyati ham ortib boradi (2-rasm). Foton energiyasi 2.0-2.5 eV oralig‘ida bo‘lganda yutilish koeffitsiyentining qiymati keskin ortishi kuzatildi. Bu soha elektronlarning valent sohadan o‘tkazuvchinlik sohasiga o‘tishi bilan bog‘liq bo‘lib, materialda kuchli optik yutilish boshlanishini bildiradi. Aynan shu energiya oralig‘i Tauk tahlili yordamida aniqlangan optik taqiqlangan soha kengligi qiymati (2.4 eV) bilan ham mos keladi (3-rasm).



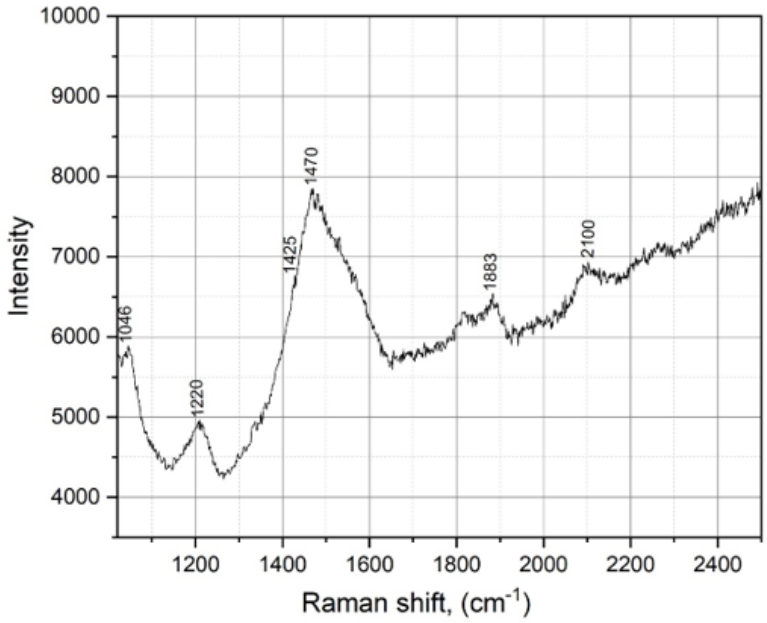
2-rasm. C_{60} qatlamining foton energiyasiga nisbatan optik yutilish koeffitsiyenti

3.0 eV dan energiyalarda α yana ortib borishi yuqori energiyali o‘tishlar mavjud ekanligini ko‘rsatadi. Bu holat C_{60} molekulalaridagi π-π* elektron o‘tishlari hamda molekulyar orbitallar orasidagi qo‘shimcha optik o‘tishlar bilan izohlanishi mumkin. Fulleren qatlamning eng muhim optik xossalaridan biri bo‘lgan taqiqlangan soha kengligini (Eg) aniqlash uchun $(\alpha h\nu)2$ ning foton energiyasiga (hv) bog‘liqlik grafigidan foydalanildi (3-rasm). Grafikdan ko‘rinadiki, 2.3 eV dan past energiyalarda $(\alpha h\nu)$ 2 ning kichik qiymatlari materialning ushbu sohada yorug‘likni zaif yutishini ko‘rsatadi. 2.3–2.6 eV oralig‘ida keskin o‘sish boshlanadi, bu valent soha va o‘tkazuvchanlik sohasi orasidagi elektron o‘tishlarning faollashganini bildiradi. Yuqori energiyalarda esa $(\alpha h\nu)$ 2 ning ortishi foton energiyasi oshishi bilan optik yutilish intensivlashganini ko‘rsatadi.



3-rasm. C_{60} yupqa qatlamining optik taqiqlangan soha kengligini aniqlash uchun Tauk ploti

Spray coating usulida o‘stirilgan yupqa fulleren qatlamning Raman spektri tahlil qilinganda fulleren C_{60} molekulasiga xos bo‘lgan asosiy tebranish modalari mavjud ekanligi aniqlandi. Masalan, 1470 sm-1 dagi yuqori cho‘qqi C_{60} ning simmetrik Ag(2) modasiga to‘g‘ri keladi va shisha taglik sirtida fulleren qatlami muvaffaqiyatli shakllanganligini tasdiqlaydi. Mazkur cho‘qqi fulleren molekulasidagi beshburchaklarning C=C qo‘sh bog‘larining cho‘zilishini ifodalaydi va toza, mukammal C60 strukturalarida bu cho‘qqi 1469 sm-1 atrofida ko‘rinadi. Fulleren molekulalari uchun 1046 sm-1 va 1220 sm-1 sohaarida Hg simmetriyasiga ega bo‘lgan deformatsion tebranishlar kuzatiladi. Grafikda keltirilgan 1425 sm-1 cho‘qqi fullerenning Hg(7) modasi bo‘lib, fulleren strukturasi uchun xos bo‘lgan piklardan hisoblanadi. Biroq, 1425 sm-1 va 1470 sm-1 orasidagi sohaning kengayganligi qatlamning amorfsimon tuzilishga ega ekanligini yoki purkash jarayonida destruktsiya kuzatilgan bo‘lishi mumkinligini ko‘rsatadi. Grafikda kuzatilgan 1883 sm-1 va 2100 sm-1 kabi yuqori tartibli piklar C_{60} ning odatiy modalariga tegishli bo‘lmagan piklar hisoblanadi. Bu kabi yuqori tartibli piklarning paydo bo‘lishi ikkinchi tartibli Raman o‘tishlar, fluoresans yoki fon artefaktlari, atmosferadagi gazlar va qatlamda organik qoldiqlar yoki erituvchi qoldiqlari bor bo‘lgan holatlarda kuzatilishi mumkin.



4-rasm. Spray coating usulida shisha taglik ustida o‘stirilgan fulleren qatlamining Raman spektri

Xulosa. Ushbu ishda spray coating usuli yordamida C_{60} fulleren asosidagi yupqa qatlam muvaffaqiyatli hosil qilindi va uning optik xossalari o‘rganildi. UV–Vis spektroskopiya natijalari qatlamning ko‘rinadigan va yaqin ultrabinafsha sohalarda sezilarli yutilish xususiyatiga ega ekanligini ko‘rsatdi. Yutilish koeffitsiyenti va Tauc usuli asosida optik taqiqlangan zona kengligi aniqlanib, uning qiymati taxminan 2,4 eV ga teng ekanligi topildi. Raman spektroskopiyasi natijasida 1470 sm^{-1} da kuzatilgan xarakterli Ag(2) vibratsion moda C_{60} molekulyar strukturasining saqlanib qolganligini va qatlamning muvaffaqiyatli shakllanganligini tasdiqladi. Olingan natijalar spray coating usulining sifatli C_{60} yupqa qatlamlarini hosil qilish uchun samarali texnologiya ekanligini ko‘rsatadi hamda bunday qatlamlarning optoelektronika va quyosh energiyasi qurilmalarida qo‘llanish istiqbollari mavjudligini tasdiqlaydi.

ADABIYOTLAR:

1. Wang, Xiaolin; Li, Yuxin; Wang, Yifan; Zhang, Yujie; Liu, Hongwei; Chen, Guangsheng /Functionalized Fullerenes and Their Applications in Electrochemistry, Solar Cells, and Nanoelectronics/ Nanomaterials, 2023, 13(3), 495.

2. Castro, Ernesto; Hernandez Garcia, Alfredo; Zavala, Guillermo; Echegoyen, Luis/ Fullerenes in Biology and Medicine/ Journal of Materials Chemistry B, 2017, 5(32), 6523–6535.

3. Dresselhaus, M. S.; Dresselhaus, G.; Eklund, P. C./ Science of Fullerenes and Carbon Nanotubes/ Academic Press, San Diego, 1996.

4. Makhmanov, U. K., Esanov, S. A., Aslonov, B. A., Bekmurodov, Z., Musurmonov, K. N., Sidigaliyev, D., & Shukurov, A. X. (2023). Features of C60 fullerene in the toluene-hexane solvent system. «Узбекский физический журнал», 25(2).

5. Makhmanov, U. K., Kokhkharov, A. M., Bakhramov, S. A., & Erts, D. (2019). Thin organic films based on fractal nanosized aggregates of fullerene C60 on the substrate surface.

6. Kroto, H. W.; Heath, J. R.; O'Brien, S. C.; Curl, R. F.; Smalley, R. E. /C60: Buckminsterfullerene/ Nature, 1985, 318(6042), 162–163.

7. Hebard, A. F.; Rosseinsky, M. J.; Haddon, R. C.; Murphy, D. W.; Glarum, S. H.; Palstra, T. T. M.; Ramirez, A. P.; Kortan, A. R. /Superconductivity at 18 K in Potassium-Doped C60 / Nature, 1991, 350(6319), 600–601.

8. Wolf, Mathias; Toyouchi, Shuichi; Walke, Peter; Umemoto, Kazuki; Masuhara, Akito; Fukumura, Hiroshi; Takano, Yuta; Yamada, Michio; Hirai, Kenji; Fron, Eduard; Uji-i, Hiroshi. / Li@C60 Thin Films: Characterization and Nonlinear Optical Properties / RSC Advances, 2022, 12, 389–394.

9. Bethune, D. S.; Meijer, G.; Tang, W. C.; Rosen, H. J.; Golden, W. G.; Seki, H.; Brown, C. A.; de Vries, M. S. / Vibrational Raman and Infrared Spectra of Solid C60 and C70 / Chemical Physics Letters, 1991, 179(1–2), 181–186.

10.Jeon, S. J., Kim, D., Kim, S. K., & Jeon, I. C. (1992). High-pressure Raman study of fullerite C60. Journal of Raman spectroscopy, 23(5), 311-313.

11.Skumanich A. Optical Spectra of Fullerenes: C60 a new amorphous semiconductor? //MRS Online Proceedings Library (OPL). – 1992. – T. 270. – C. 299.

12.Qin, Y., Xu, J., Liang, Z., Teng, H., Zhan, D., & Xu, H. (2025). Raman spectroscopy of fullerenes: from C60 to functionalized derivatives. Molecules, 30(3), 738.

13.Faiman, D., Goren, S., Katz, E. A., Koltun, M., Melnik, N., Shames, A., & Shtutina, S. (1997). Structure and optical properties of C60 thin films. Thin solid films, 295(1-2), 283-286.