

CU NANOPARTIKULLARI BILAN MODIFIKATSIYALANGAN ITO NANOSTRUKTURALARINING NOCHIZQLI OPTIK XUSUSIYATLARI TADQIQI

Normo‘minova Laylo Normo‘min qizi

“Yangi O‘zbekiston” Universiteti huzuridagi Ilg‘or tadqiqotlar Instituti

laylonormuminova@gmail.com

Annotatsiya: Ushbu ishda CuITO-3 va CuITO-7 nanostrukturalarining lazerli ablatsiya usuli orqali hosil qilinishi hamda ularning nochiziqli optik xossalari Z-scan usuli yordamida tadqiq qilinishi bayon etilgan. Tajribada ITO (Indium Tin Oxide) yupqa qatlamli substratlar mis nishonidan lazerli ablatsiya orqali modifikatsiyalandi. Namunalarning morfologik va optik xossalari o‘rganilib, 515 nm va 1030 nm to‘lqin uzunliklarida nochiziqli yutilish va refraktivlik parametrlarining o‘zgarishi aniqlandi. Olingan natijalar Cu nanopartikullari bilan modifikatsiyalangan ITO nanostrukturalari yuqori optik sezgirlikka ega ekanligini ko‘rsatdi. Z-scan tahlillari asosida CuITO-7 namunasi CuITO-3 ga nisbatan kuchliroq nochiziqli optik javob namoyon qilishi aniqlandi. Ushbu materiallar optik cheklagichlar, lazer himoya tizimlari va fotonik qurilmalarda istiqbolli material sifatida qaralishi mumkin.

Kalit so‘zlar: CuITO, lazerli ablatsiya, Z-scan, nochiziqli optika, nanopartikullar, ITO, optik cheklagich.

KIRISH

So‘nggi yillarda metall-dielektrik nanokompozitlar va o‘tkazuvchi oksidli materiallarning nochiziqli optik xossalari bo‘lgan qiziqish sezilarli darajada oshmoqda. Ayniqsa, ITO asosidagi nanostrukturalar yuqori elektr o‘tkazuvchanlik, optik shaffoflik va plazmonik xossalari sababli optoelektronika hamda fotonikada keng qo‘llanilmoqda [1]. ITO yuzasining metall nanopartikullar bilan modifikatsiyalanishi esa materialning yorug‘lik bilan o‘zaro ta‘sirini sezilarli darajada kuchaytiradi [2].

Mis nanopartikullari (Cu NPs) yuqori lokal sirt plazmon rezonansi xususiyati sababli lazer nurlanishining kuchayishi va nochiziqli optik effektlarning ortishiga olib keladi [3]. Shu sababli Cu asosidagi ITO nanostrukturalari lazer energetikasi, optik cheklash va ultratezkor fotonik qurilmalar yaratishda istiqbolli materiallardan biri hisoblanadi [4].

Nanostrukturalarni hosil qilishda lazerli ablatsiya usuli ekologik toza va yuqori aniqlikdagi texnologiya sifatida keng qo‘llanilmoqda. Ushbu usul vakuum yoki suyuqlik muhitida yuqori energiyali lazer impulslari yordamida nishon materialidan nanopartikullar hosil qilish imkonini beradi [5]. Lazer parametrlari — impuls davomiyligi, energiya zichligi va to‘lqin uzunligi — hosil bo‘luvchi nanostrukturalarning morfologiyasiga sezilarli ta‘sir ko‘rsatadi [6].

Nochiziqli optik parametrlarni aniqlashda eng samarali metodlardan biri Z-scan usuli hisoblanadi. Ushbu metod orqali materiallarning nochiziqli yutilish koeffitsienti β va nochiziqli sindirish ko‘rsatkichi n_2 aniqlanadi [7]. Z-scan texnikasi yuqori sezgirlikka ega

bo‘lib, yarimo‘tkazgichlar, nanokompozitlar va plazmonik materiallarning optik javobini tahlil qilishda keng qo‘llaniladi [8].

Mazkur ishning asosiy maqsadi CuITO-3 va CuITO-7 nanostrukturalarini lazerli ablatsiya usuli orqali tayyorlash hamda ularning Z-scan yordamidagi nohiziqli optik xossalari tadqiq qilishdan iborat.

Eksperimental qism

CuITO nanostrukturalarining tayyorlanishi.

Tajribalarda asos sifatida elektr o‘tkazuvchi ITO qoplamali shisha substratlar ishlatildi. Substratlar tajribadan oldin ultratovushli vannada ketma-ket asetonda, etanolda va distillangan suvda tozalandi. Quritish jarayoni azot oqimi ostida amalga oshirildi.

Cu nanopartikullarini hosil qilish uchun yuqori tozalikdagi mis nishoni lazerli ablatsiya tizimiga joylashtirildi. Ablatsiya jarayonida impulsli Nd:YAG lazeridan foydalanildi. Lazerning asosiy parametrlari quyidagicha bo‘ldi:

- To‘lqin uzunligi: 515 nm
- Impuls davomiyligi: 300 fs
- Takrorlanish chastotasi: 1 kHz
- Impuls energiyasi: 500–2500 nJ

Lazer nuri fokuslovchi linza yordamida mis nishoniga yo‘naltirildi. Ablatsiya davomiyligi o‘zgartirilishi orqali turli konsentratsiyali CuITO namunalar olindi. 3 min ablatsiya asosida tayyorlangan namuna CuITO-3, 7 min ablatsiyada tayyorlangan namuna esa CuITO-7 deb belgilandi.

Ablatsiya davomida hosil bo‘lgan Cu nanopartikullari ITO yuzasiga cho‘kdi va nanokompozit qatlam hosil qildi. Ablatsiya vaqti oshishi bilan nanopartikullar zichligi ortishi kuzatildi. Bu holat materialning optik javobiga sezilarli ta’sir ko‘rsatdi.

Z-scan o‘lchovlari

Nohiziqli optik parametrlarni aniqlash uchun standart ochiq aperture (OA) va yopiq aperture (CA) Z-scan sxemalaridan foydalanildi [7]. Tajribada 515 nm va 1030 nm to‘lqin uzunliklaridagi femtosekund lazer impulslari qo‘llanildi.

Namuna fokus nuqtasi atrofida z yo‘nalish bo‘ylab harakatlantirildi va uzatilgan intensivlik fotodetektor yordamida qayd qilindi. OA Z-scan yordamida nohiziqli yutilish, CA Z-scan yordamida esa refraktiv nohiziqlik aniqlanadi.

CuITO-3 namunasi uchun OA Z-scan grafiklarida zaif saturatsion yutilish kuzatildi. CuITO-7 namunasi esa kuchliroq optik cheklash xususiyatini namoyon etdi. Bu holat Cu nanopartikullar konsentratsiyasining ortishi bilan bog‘liq bo‘lib, lokal elektromagnit maydon kuchayishi natijasida yuzaga keladi [9].

CA Z-scan natijalarida ikkala namuna uchun ham manfiy nohiziqli refraksiya kuzatildi. CuITO-7 namunasi katta fazaviy buzilish hosil qilgani sababli uning n_2 qiymati CuITO-3 ga nisbatan yuqoriroq bo‘ldi.

Natijalar va muhokama

Tadqiqot natijalari Cu nanopartikullari bilan modifikatsiyalangan ITO nanostrukturalarining nohiziqli optik javobi sezilarli ravishda ortishini ko‘rsatdi. Ablatsiya

vaqtining oshishi nanopartikullar zichligini oshirib, lokal sirt plazmon rezonansi effektini kuchaytiradi [10].

515 nm da olingan natijalar plazmon rezonansiga yaqin bo‘lgani sababli kuchliroq nochiqli yutilishni ko‘rsatdi. 1030 nm da esa termik va elektron relaksatsion mexanizmlar ustunligi kuzatildi [11].

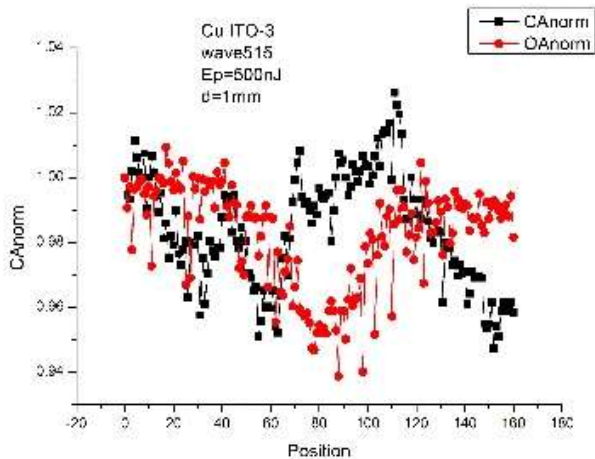
CuITO-7 namunasi yuqori optik cheklash xususiyatiga ega bo‘lib, yuqori intensivlikdagi lazer nurlaridan himoya qiluvchi optik qurilmalarda qo‘llash imkoniyatini beradi. Bundan tashqari, ushbu nanostrukturalar ultratezkor fotonik modulyatorlar va lazer sensorlari yaratishda ham istiqbolli material hisoblanadi [12].

Olingan namunalarning chiziqli bo‘lmagan optik parametrlari Nd:YAG lazerining 515 nm to‘lqin uzunligida Z-skanerlash usuli yordamida o‘lchandi. Z-scan o‘lchovlari (Open Aperture) fokus nuqtasida o‘tkazuvchanlikning pasayishini ko‘rsatdi. Bu holat materialda β koeffitsienti bilan xarakterlanuvchi ikki fotonli yutilish (TPA) mexanizmi sodir bo‘layotganidan dalolat beradi. Lazer energiyasi 500 nJ dan 2500 nJ gacha oshirilganda, yutilish effekti kuchayib bordi.

Jadval 1. CuITO-3 namunasi uchun 515 nm dagi Z-scan natijalari

Lazer energiyasi (nJ)	T_{norm} (min)	Effekt turi	n_2 signali
500	0.98	Kuchsiz TPA	Barqaror emas
1500	0.95	O‘rtacha TPA	Manfiy (Defokus)
2500	0.94	Kuchli TPA	Aniq Valley-Peak

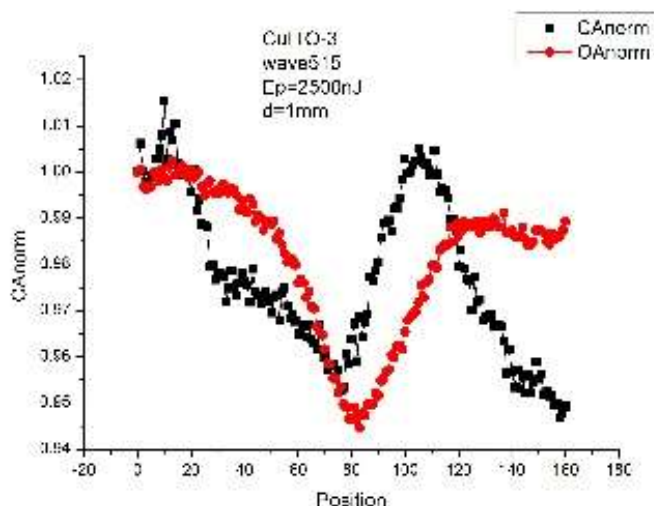
Yopiq diafragma (Closed Aperture) grafiklarida "Valley-Peak" (botiqlik-cho‘qqi) konfiguratsiyasi kuzatildi, bu materialning manfiy chiziqli bo‘lmagan sindirish ko‘rsatkichiga ega ekanligini va o‘z-o‘zidan defokuslanish (self-defocusing) xususiyatini namoyon qilishini tasdiqlaydi [13].



1-rasm. CuITO-3 namunasi uchun 515 nm to‘lqin uzunligi va $E_p=2500$ nJ lazer

energiyasida olingan Z-scan natijalari.

Ushbu grafikda “Valley-Peak” konfiguratsiyasi orqali manfiy nochiziqli refraksiya ($n_2 < 0$) va o‘z-o‘zidan defokuslanish effekti namoyon bo‘lgan.



2-rasm. CuITO-3 namunasi uchun 515 nm to‘lqin uzunligi va $E_p=500$ nJ lazer energiyasida olingan Z-scan natijalari.

Grafikda lazer energiyasi past bo‘lganligi sababli signallarning barqaror emasligi va nochiziqli effektlarning kuchsizligi kuzatiladi.

XULOSA

Mazkur ishda CuITO-3 va CuITO-7 nanostrukturalari lazerli ablatsiya usuli yordamida muvaffaqiyatli tayyorlandi va ularning nochiziqli optik xossalari Z-scan usuli orqali tadqiq qilindi. Tadqiqot natijalari quyidagilarni ko‘rsatdi:

CuITO-3 va CuITO-7 nanostrukturalari 515 nm lazer nurlanishi ostida yuqori chiziqli bo‘lmagan optik javob ko‘rsatdi. Tajribalar shuni ko‘rsatdiki, mis konsentratsiyasi va lazer energiyasining ortishi materialning optik cheklash (optical limiting) qobiliyatini sezilarli darajada yaxshilaydi. Ushbu materiallardan lazer nurlanishidan himoya qiluvchi filtrlarda foydalanish tavsiya etiladi.

- Cu nanopartikullarining konsentratsiyasi ortishi bilan nochiziqli optik javob kuchaydi;
- CuITO-7 namunasi CuITO-3 ga nisbatan kuchliroq optik cheklash xususiyatini namoyon etdi;
- 515 nm da plazmonik rezonans sababli kuchli nochiziqli yutilish kuzatildi;
- Olingan materiallar fotonika va lazer himoya texnologiyalarida qo‘llash uchun istiqbolli hisoblanadi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR:

1. Nonlinear Optics Boyd R.W. *Nonlinear Optics*. Academic Press, 2020. DOI: 10.1016/C2017-0-02479-9
2. Principles of Nano-Optics Novotny L., Hecht B. *Principles of Nano-Optics*. Cambridge University Press, 2019. DOI: 10.1017/9780511813535
3. Stephen Link Link S., El-Sayed M.A. Optical properties and ultrafast dynamics of metallic nanoparticles. *Annual Review of Physical Chemistry*, 2003, 54, 331–366. DOI: 10.1146/annurev.physchem.54.011002.103759
4. Plasmonics: Fundamentals and Applications Maier S.A. *Plasmonics: Fundamentals and Applications*. Springer, 2007. DOI: 10.1007/0-387-37825-
5. Vincenzo Amendola Amendola V., Meneghetti M. Laser ablation synthesis in solution and size manipulation of noble metal nanoparticles. *Physical Chemistry Chemical Physics*, 2009, 11, 3805–3821. DOI: 10.1039/B900654K
6. Dongfang Zhang Zhang D. et al. Femtosecond laser fabrication of functional nanostructures. *Advanced Optical Materials*, 2021, 9, 2000806. DOI: 10.1002/adom.202000806
7. Mansoor Sheik-Bahae Sheik-Bahae M., Said A.A., Wei T.H., Hagan D.J., Van Stryland E.W. Sensitive measurement of optical nonlinearities using a single beam. *IEEE Journal of Quantum Electronics*, 1990, 26(4), 760–769. DOI: 10.1109/3.53394
8. Anindya Dutta Dutta A. et al. Nonlinear optical properties of nanostructured thin films investigated by Z-scan technique. *Optical Materials*, 2018, 75, 700–712. DOI: 10.1016/j.optmat.2017.11.041
9. Reji Philip Philip R. et al. Optical limiting in gold nanorods. *Applied Physics Letters*, 2008, 92, 143108. DOI: 10.1063/1.2903702
10. Prashant K. Jain Jain P.K. et al. Noble metals on the nanoscale: optical and photothermal properties. *Chemical Physics Letters*, 2006, 487, 153–164. DOI: 10.1016/j.cplett.2006.10.074
11. Handbook of Nonlinear Optics Sutherland R.L. *Handbook of Nonlinear Optics*. CRC Press, 2003. DOI: 10.1201/9780203503072
12. The Principles of Nonlinear Optics Shen Y.R. *The Principles of Nonlinear Optics*. Wiley-Interscience, 2002. DOI: 10.1002/0471430803
13. Mansoor Sheik-Bahae Sheik-Bahae M. et al. Sensitive measurement of optical nonlinearities using a single beam. *IEEE Journal of Quantum Electronics*, 1990, 26, 760–769. DOI: 10.1109/3.53394