

RUX OKSIDI (ZnO (Z8)) PLYONKASIDA LAZER IMPULS ENERGIYASIGA BOG'LIQ NOCHIZIQLI -OPTIK REFRAKSIYA VA YUTILISH XUSUSIYATLARINI Z-SCAN USULIDA TADQIQ QILISH

Z. Y. Xudoyqulova

“Yangi O'zbekiston” Universiteti huzuridagi Ilg'or tadqiqotlar instituti

E-mail: znigor929@gmail.com

<https://doi.org/10.5281/zenodo.22785377>

Qabul qilindi: 9-sentabr 2026-yil • Ma'qullandi: 15-sentabr 2026-yil • Nashr qilindi: 16-sentabr 2026-yil

Annotatsiya

Ushbu tezisda bir nurlik Z-scan usuli yordamida rux oksidi (ZnO (Z8)) yupqa plyonkasining yaqin infraqizil diapazondagi ($\lambda = 1030$ nm) nolineyn-optik (NLO) xossalari turli lazer impuls energiyalarida ($E_p = 500$ μ J va $E_p = 1000$ μ J) tadqiq etildi. Eksperimental natijalar shuni ko'rsatdiki, $E_p = 500$ μ J impuls energiyasida materialda to'yinuvchan yutilish (SA, $T_{\max} \approx 1,025$) va manfiy nolineyn refraksiya ($n_2 < 0$, o'z-o'zini defokuslash) kuzatildi. Impuls energiyasi $E_p = 1000$ μ J gacha oshirilganda esa nolineyn yutilish teskari to'yinuvchan yutilish (RSA, $T_{\min} \approx 0,980$) xarakteriga o'tdi va nolineyn refraksiya musbat ishoraga ega bo'ldi ($n_2 > 0$, o'z-o'zini fokuslash, $\Delta T_{p-v} \approx 0,036$). Olingan natijalar ZnO (Z8) plyonkasining lazer impuls energiyasiga bog'liq nolineyn-optik xususiyatlarini ko'rsatib, uning optik modulyatorlar va yuqori intensivlikdagi lazer nurlanishini cheklashga mo'ljallangan optik cheklagichlarda qo'llash imkoniyatlarini ko'rsatadi.

Kalit so'zlar

ZnO yupqa plyonka, Z-scan usuli, nolineyn refraksiya, nolineyn yutilish, to'yinuvchan yutilish, teskari to'yinuvchan yutilish, o'z-o'zini fokuslash, o'z-o'zini defokuslash, optik cheklagich.

1. KIRISH

Ultratezkor lazer nurlanishi va fotoqabulqilgichlarni yuqori quvvatli nurlanishdan muhofaza qiluvchi optik cheklagichlar (optical limiters) hamda optik modulyatorlarni yaratishda uchinchi tartibli nolineyn-optik (NLO) sezgirlikka ega materiallarni o'rganish dolzarb masalalardan biridir.

Rux oksidi (ZnO) keng taqiqlangan zonali yarimo'tkazgich bo'lib, uning taqiqlangan zona energiyasi xona haroratida taxminan $E_g \approx 3,37$ eV ni tashkil etadi. ZnO yuqori optik shaffofligi, fizik-kimyoviy barqarorligi va nolineyn-optik xususiyatlari tufayli zamonaviy fotonika va optoelektronika sohalarida istiqbolli materiallardan biri hisoblanadi.

Nolineyn-optik materiallarning muhim parametrlariga nolineyn refraksiya koeffitsienti n_2 va nolineyn yutilish koeffitsienti β kiradi. Ushbu parametrlarni aniqlashning samarali usullaridan biri bir nurlik Z-scan usulidir. Mazkur usul yordamida namunaning nolineyn yutilishi va refraksiyasi o'rganilishi mumkin [1].

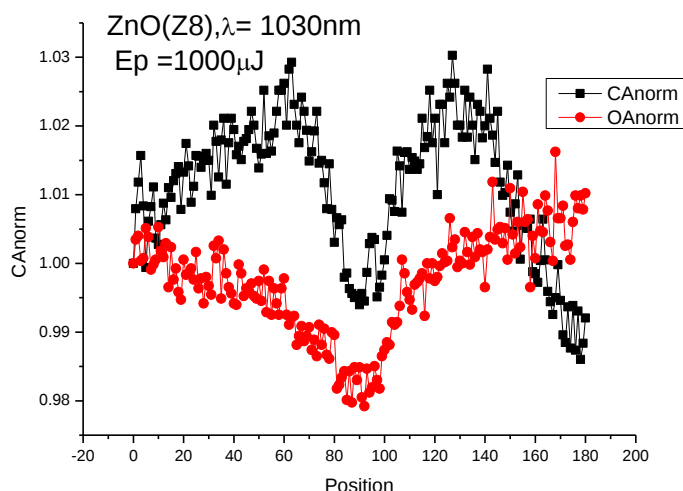
Ushbu tezisning maqsadi ZnO (Z8) yupqa plyonkasining nolineyn-optik xususiyatlarining lazer impuls energiyasiga bog'liqligini Z-scan usuli yordamida tahlil qilishdan iborat.

2. Tajriba usuli va parametrlari

O'lchovlar bir nurlik klassik Z-scan qurilmasida bajarildi. Tajribada quyidagi parametrlar qo'llanildi:

Namuna: ZnO (Z8) yupqa plyonkasi.

Lazer to'lqin uzunligi: $\lambda = 1030$ nm.



Foton energiyasi: $E_{\text{foton}} \approx 1,204$ eV.

Impuls energiyalari: $E_p = 500$ μJ va $E_p = 1000$ μJ .

O'lchov rejimlari: ochiq diafragma (Open Aperture, OA) — nolineyn yutilishni aniqlash uchun va yopiq diafragma (Closed Aperture, CA) — nolineyn refraksiyani aniqlash uchun.

1030 nm to'lqin uzunligida foton energiyasi quyidagi ifoda orqali aniqlanadi:

$$E_{\text{foton}} = hc/\lambda.$$

Natijada $E_{\text{foton}} \approx 1,204$ eV qiymatga ega bo'ladi. Ushbu qiymat ZnO ning taqiqlangan zona energiyasidan ancha kichik bo'lib, kuzatilgan nolineyn-optik jarayonlarda defekt sathlari va intensivlikka bog'liq mexanizmlarning hissasi bo'lishi mumkin.

3. NATIJALAR VA ILMIY MUHOKAMA

Z-scan o'lchovlari natijasida lazer impuls energiyasining o'zgarishi ZnO (Z8) plyonkasining nolineyn-optik javobiga sezilarli ta'sir ko'rsatishi kuzatildi.

3.1. Yuqori energiyali rejim: $E_p = 1000$ μJ

$E_p = 1000$ μJ impuls energiyasida OA_norm profilida fokus markazida, taxminan Position ≈ 90 sohada, o'tkazuvchanlikning $T_{\min} \approx 0,980$ gacha pasayishi kuzatildi. Bu normallashtirilgan o'tkazuvchanlikning taxminan 2,0 % ga kamayishiga mos keladi.

OA signalidagi bunday pasayish nolineyn yutilishning kuchayganligini va teskari to'yinuvchan yutilish (Reverse Saturable Absorption, RSA) xarakterini ko'rsatadi.

1030 nm to'lqin uzunligida foton energiyasi $E_{\text{foton}} \approx 1,204$ eV bo'lib, ZnO ning $E_g \approx 3,37$ eV taqiqlangan zona energiyasidan kichikdir. Shu sababli kuzatilgan yutilish jarayonini faqat oddiy zonalararo bir fotonli yutilish bilan izohlash mumkin emas. Defekt sathlari orqali kechuvchi yutilish va boshqa intensivlikka bog'liq nolineyn jarayonlarning hissasi bo'lishi mumkin.

CA_norm profilida fokusdan oldingi sohada Valley, fokusdan keyingi sohada esa Peak kuzatildi. Valley–Peak ketma-ketligi musbat nolineyn refraksiya koeffitsienti, ya'ni $n_2 > 0$, bilan mos keladi. CA signalining Peak–Valley amplitudasi $\Delta T_{p-v} \approx 0,036$ ni tashkil etdi.

Shunday qilib, $E_p = 1000$ μJ energiyada ZnO (Z8) plyonkasida musbat nolineyn refraksiya va o'z-o'zini fokuslash (self-focusing) xarakteridagi optik javob kuzatildi.

3.2. O'rta energiyali rejim: $E_p = 500$ μJ

$E_p = 500$ μJ impuls energiyasida OA_norm profilida fokus sohasi yaqinida o'tkazuvchanlikning $T_{\max} \approx 1,025$ gacha ko'tarilishi kuzatildi. O'tkazuvchanlikning ortishi nolineyn yutilishning kamayishini bildiradi va to'yinuvchan yutilish (Saturable Absorption, SA) xarakteriga mos keladi.

Ushbu holat ZnO plyonkasidagi defekt sathlarining lazer nurlanishi ta'sirida to'yinishi va natijada yutilishning kamayishi bilan bog'liq bo'lishi mumkin.

CA_norm profilida Peak–Valley strukturasi kuzatildi. Z-scan nazariyasiga ko'ra, bunday profil manfiy nolineyn refraksiya koeffitsienti ($n_2 < 0$) bilan mos keladi. Bu ZnO (Z8) plyonkasida o'z-

o'zini defokuslash (self-defocusing) xarakteridagi nolineyn-optik javob kuzatilganligini ko'rsatadi.

Ushbu rejimda elektron nolineynlik bilan bir qatorda termik yoki boshqa sekinroq jarayonlarning hissi bo'lishi ehtimoli ham mavjud. Bunday mexanizmlarni aniq ajratish uchun qo'shimcha vaqtga bog'liq o'lchovlar talab etiladi.

4. Taqqoslama parametrlar jadvali

Kriteriy / parametr	Yuqori energiyali rejim $E_p = 1000 \mu\text{J}$	O'rta energiyali rejim $E_p = 500 \mu\text{J}$
OA egri chizig'i profili	Dip, $T_{\min} \approx 0,980$	Peak, $T_{\max} \approx 1,025$
Yutilish xarakteri	Teskari to'yinuvchan yutilish (RSA)	To'yinuvchan yutilish (SA)
CA egri chizig'i profili	Valley–Peak	Peak–Valley
CA signal amplitudasi	$\Delta T_{p-v} \approx 0,036$	$T_{\max} \approx 1,050$
Refraksiya ishorasi	Musbat, $n_2 > 0$	Manfiy, $n_2 < 0$
Optik effekt	O'z-o'zini fokuslash	O'z-o'zini defokuslash
Ehtimoliy amaliy qo'llanilishi	Optik cheklagichlar	Optik modulyatorlar

5. XULOSA

ZnO (Z8) yupqa plyonkasining lazer impuls energiyasiga bog'liq nolineyn-optik refraksiya va yutilish xususiyatlari 1030 nm to'lqin uzunligida bir nurlik Z-scan usuli yordamida tadqiq qilindi.

$E_p = 500 \mu\text{J}$ impuls energiyasida OA signalida $T_{\max} \approx 1,025$ qiymatli Peak kuzatilib, to'yinuvchan yutilish (SA) xarakteri aniqlandi. CA signalining Peak–Valley shakli esa manfiy nolineyn refraksiya ($n_2 < 0$) va o'z-o'zini defokuslash xarakteridagi optik javob bilan mos keladi.

$E_p = 1000 \mu\text{J}$ impuls energiyasida OA signalida $T_{\min} \approx 0,980$ qiymatli Dip kuzatilib, nolineyn yutilishning kuchayishi qayd etildi. Ushbu holat teskari to'yinuvchan yutilish (RSA) xarakteriga mos keladi. CA signalining Valley–Peak profili esa musbat nolineyn refraksiya ($n_2 > 0$) va o'z-o'zini fokuslash xarakteridagi optik javobni ko'rsatadi.

Shunday qilib, ZnO (Z8) plyonkasining nolineyn-optik javobi lazer impuls energiyasiga bog'liq holda o'zgarishi kuzatildi. Impuls energiyasining 500 μJ dan 1000 μJ gacha oshirilishi natijasida nolineyn yutilish va refraksiya xarakterlarining o'zgarishi qayd etildi.

Olingan natijalar ZnO (Z8) yupqa plyonkasining lazer impuls energiyasiga bog'liq nolineyn-optik xususiyatlarini ko'rsatadi va ushbu materialning optik modulyatorlar, ultratezkor optik qurilmalar hamda yuqori intensivlikdagi lazer nurlanishini cheklashga mo'ljallangan optik cheklagichlarda qo'llash imkoniyatlarini ko'rsatadi.

Adabiyotlar, References, Литературы:

1. 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. – Vol. 26, No. 4. – P. 760–769. – DOI: 10.1109/3.53394.
2. Xu Y., Lu Y., Zuo Y., Xu F., Zuo D. Z-scan measurements of nonlinear refraction and absorption for aluminum-doped zinc oxide thin film // Applied Optics. – 2019. – Vol. 58, No. 22. – P. 6112–6117. – DOI: 10.1364/AO.58.006112.
3. Irimpan L., Krishnan B., Nampoori V.P.N., Radhakrishnan P. Size dependent enhancement of nonlinear optical properties in nano colloids of ZnO // Journal of Applied Physics. – 2008. – Vol. 103. – 033105.
4. Abed S., Bouchouit K., Aida M.S., Taboukhat S., Sofiani Z., Kulyk B., Figa V. Nonlinear optical properties of zinc oxide doped bismuth thin films using Z-scan technique // Optical Materials. – 2016. – Vol. 56. – P. 40–44. – DOI: 10.1016/j.optmat.2015.12.014.

5. Ganeev, R. A., et al. (2004). Nonlinear optical properties of ZnO thin films. Appl. Phys. B, 78(2), 239–243.