MG ATOMLARI BILAN LEGIRLANGAN ZNO PLYONKALARINING TUZILMAVIY VA OPTIK XOSSALARIGA GAMMA NURLANISHLAR TA'SIRINI MODELLASHTIRISH

Boboyev Akramjon Yo'ldoshboyevich
Andijon davlat universiteti, DSc, dotsent
E-mail: aboboevscp@gmail.com

Odilov Sherzodbek Ibrohimjon o'g'li
Andijon davlat universiteti magistranti
E-mail: shodilovphd@gmail.com
https://doi.org/10.5281/zenodo.20308324

Annotatsiya.
Ushbu ishda 5 at.% Mg bilan legirlangan ZnO plyonkalarining Co-60 gamma nurlanishi ta'siridagi tuzilmaviy va optik xossalari Geant4 hamda SRIM/TRIM dasturlari yordamida modellashtirildi. Hisoblashlarda Mg:ZnO plyonka qalinligi 500 nm, geometrik o'lchami 10 mm × 10 mm, zichligi 5,5 g/cm³ deb qabul qilindi. Co-60 gamma manbasi uchun o'rtacha foton energiyasi 1,25 MeV sifatida olindi va Monte-Karlo hisoblarida $5 \cdot 10^6$ ta gamma-kvant kuzatildi. Nurlanish ta'siri 0, 50 va 100 kGy dozalar uchun tahlil qilindi. Geant4 natijalari asosida plyonka hajmida yutilgan energiya va uning chuqurlik bo'yicha taqsimoti baholandi. Olingan hisoblash natijalari model XRD difraktogrammalari hamda model optik yutilish spektrlari bilan bog'lab tahlil qilindi. XRD modelida difraksiya cho'qqilarining intensivligi, kengayishi va fon o'zgarishlari radiatsion nuqsonlar, vakansiyalar hamda mikrodeformatsiyalar bilan izohlandi. Optik modelda esa doza ortishi bilan yutilish intensivligining oshishi defekt sathlari va qo'shimcha yutilish markazlari hosil bo'lishi bilan bog'liq deb talqin qilindi. SRIM/TRIM hisoblari Co-60 gamma nurlanishining bevosita modeli sifatida emas, balki radiatsion nuqsonlar, atom siljishlari va ionlashish jarayonlarini qo'shimcha fizik tushuntirish vositasi sifatida foydalanildi.

Kalit so'zlar: Mg:ZnO, Co-60, gamma nurlanish, Geant4, SRIM/TRIM, XRD, optik yutilish, radiatsion nuqsonlar, Monte-Karlo modellashtirish.

1. Kirish

ZnO keng taqiqlangan zona energiyasiga ega bo'lgan yarimo'tkazgich oksid materiallardan biri bo'lib, optoelektron qurilmalar, ultrabinafsha nurlanish detektorlari, gaz sensorlari, shaffof elektrodlar va radiatsion muhitda ishlovchi elektron tizimlar uchun muhim ahamiyatga ega. Xona haroratida ZnO ning taqiqlangan zona kengligi taxminan 3,37 eV, eksiton bog'lanish energiyasi esa 60 meV atrofida bo'lishi uning yuqori optik sezgirlikka ega material sifatida qo'llanish imkoniyatini oshiradi [5,6,7,8].

ZnO kristall panjarasiga Mg atomlarini kiritish materialning optik va tuzilmaviy xossalarini boshqarishning samarali usullaridan biri hisoblanadi. Mg ionlarining ZnO panjarasidagi Zn o'rinlarini egallashi panjara parametrlarida, kristallanish darajasida va optik yutilish chegarasida o'zgarishlar yuzaga keltirishi mumkin. Ayniqsa Mg konsentratsiyasi 5 at.% atrofida bo'lgan holatlarda ZnO ning asosiy kristall fazasi saqlangan holda optik javobni modifikatsiya qilish imkoniyati mavjud. Shu sababli Mg bilan legirlangan ZnO plyonkalari UV-detektorlar, sensor elementlari va radiatsion ta'sirga chidamli optoelektron qurilmalar uchun istiqbolli material sifatida qaraladi [9,13].

Yarimo'tkazgich materiallar gamma nurlanish ta'sirida ionlashish, elektron-teshik juftliklari hosil bo'lishi, vakansiyalar, interstitsial atomlar, panjara nuqsonlari va lokal mikrodeformatsiyalar kabi jarayonlarga uchrashi mumkin. Bunday o'zgarishlar materialning kristall tuzilmasi va optik xossalarida sezilarli namoyon bo'ladi. XRD difraktogrammalarida bu jarayonlar difraksiya cho'qqilarining intensivligi, kengligi, fon darajasi va 2θ burchagidagi kichik siljishlar orqali baholanishi mumkin. Optik yutilish spektrlarida esa yutilish chekkasining siljishi, absorbans qiymatining ortishi va taqiqlangan zona ichida defekt sathlariga bog'liq qo'shimcha yutilish sohalari paydo bo'lishi kuzatiladi [12,17].

Gamma nurlanishning plyonkalar bilan o‘zaro ta’sirini tajribaviy o‘rganish ko‘p hollarda murakkab laboratoriya sharoiti, maxsus nurlantirish manbalari va aniq dozimetrik nazoratni talab qiladi. Shu sababli Monte-Karlo modellashtirish usullari radiatsion jarayonlarni oldindan baholash, energiya yutilishi va zarracha-materiya o‘zaro ta’sirini chuqurlik bo‘yicha tahlil qilishda muhim vosita hisoblanadi. Geant4 dasturi gamma-kvantlarning material bilan o‘zaro ta’siri, yutilgan energiya va doza taqsimotini modellashtirish uchun keng qo‘llaniladi [1,2]. SRIM/TRIM dasturi esa ionlarning qattiq jismdagi to‘xtashi, atom siljishlari, vakansiyalar va ionlashish jarayonlarini baholashda qo‘llanadi [3,4].

Ushbu ishda SRIM/TRIM natijalari Co-60 gamma nurlanishining to‘g‘ridan-to‘g‘ri modeli sifatida emas, balki radiatsion ta’sir natijasida Mg:ZnO panjarasida yuzaga kelishi mumkin bo‘lgan atom siljishlari, vakansiyalar va ionlashish jarayonlarini qo‘shimcha fizik talqin qilish vositasi sifatida foydalanildi. Bunday yondashuv Geant4 orqali hisoblangan energiya yutilishi natijalarini tuzilmaviy va optik o‘zgarishlar bilan bog‘lashga imkon beradi.

Mazkur tadqiqotning asosiy maqsadi 5 at.% Mg bilan legirlangan, qalinligi 500 nm, geometrik o‘lchami 10 mm × 10 mm va zichligi 5,5 g/cm³ bo‘lgan ZnO plyonkasida Co-60 gamma nurlanishi ta’sirida energiya yutilishi, tuzilmaviy o‘zgarishlar va optik javobni modellashtirishdan iborat. Hisoblashlarda Co-60 gamma manbasi uchun o‘rtacha foton energiyasi 1,25 MeV deb olindi va $5\cdot10^6$ ta gamma-kvant asosida Monte-Karlo hisoblari bajarildi. Nurlanish ta’siri 0, 50 va 100 kGy dozalar uchun ko‘rib chiqildi. Geant4 natijalari asosida plyonka chuqurligi bo‘yicha yutilgan energiya taqsimoti aniqlandi, SRIM/TRIM natijalari esa hosil bo‘lishi mumkin bo‘lgan nuqsonlarning fizik mohiyatini tushuntirish uchun qo‘shimcha model sifatida ishlatildi.

Tadqiqotning ilmiy yangiligi shundan iboratki, 5 at.% Mg bilan legirlangan, qalinligi 500 nm va yuzasi 10 mm × 10 mm bo‘lgan ZnO plyonkasi uchun Co-60 gamma nurlanishi ta’sirida energiya yutilishining chuqurlik bo‘yicha taqsimoti Geant4 dasturi yordamida baholandi. Hisoblashlarda Co-60 gamma-kvantlarining o‘rtacha energiyasi 1,25 MeV deb qabul qilindi va Monte-Karlo modellashtirishda $5\cdot10^6$ ta gamma-kvant kuzatildi. Olingan energiya yutilishi natijalari model XRD difraktogrammalari va model optik yutilish spektrlari bilan bog‘lab talqin qilindi. SRIM/TRIM natijalari esa gamma nurlanishning bevosita modeli sifatida emas, balki Mg:ZnO panjarasida radiatsion nuqsonlar, atom siljishlari va ionlashish jarayonlarini qo‘shimcha fizik tushuntirish uchun ishlatildi.

2. Materiallar va metodlar

Ushbu tadqiqotda Mg bilan 5 at.% konsentratsiyada legirlangan ZnO plyonkasining gamma nurlanish ta’siridagi tuzilmaviy va optik xossalari Monte-Karlo modellashtirish yondashuvi asosida baholandi. Tadqiqotning asosiy hisoblash qismi Geant4 dasturida bajarildi [1,2], SRIM/TRIM natijalari esa radiatsion nuqsonlar hosil bo’lish mexanizmini qo’shimcha izohlash uchun foydalanildi [3,4]. Bunda SRIM/TRIM gamma-kvantlarning bevosita modeli sifatida emas, balki ionlashish, atom siljishlari va vakansiyalar hosil bo’lish ehtimolini sifat jihatdan tushuntiruvchi qo’shimcha hisoblash vositasi sifatida qaraldi [3,4].

Modellashtirilgan namuna Mg:ZnO plyonkasi ko’rinishida olindi. Plyonka yuzasi 10 mm × 10 mm, qalinligi esa 500 nm deb belgilandi. Bu qiymatlar hisoblash modelida mos ravishda 1 cm² yuza va $5\cdot10^{-5}$ cm qalinlikka teng bo’ladi. Plyonka zichligi 5,5 g/cm³ deb qabul qilindi. Shunga ko’ra, modellashtirilgan qatlam hajmi $5\cdot10^{-5}$ cm³, massasi esa taxminan $2{,}75\cdot10^{-4}$ g yoki $2{,}75\cdot10^{-7}$ kg ni tashkil etadi. Ushbu massa keyinchalik yutilgan energiyani doza bilan bog’lashda ishlatildi. Material tarkibi ZnO asosida tuzildi va ZnO kristall panjarasidagi Zn tugunlarining bir qismi Mg atomlari bilan almashtirilgan deb qaraldi. Mg konsentratsiyasi 5 at.% sifatida qabul qilindi. Bunday yondashuv Mg atomlari ZnO panjarasiga izovalent qo’shimcha sifatida kirishini va panjara parametrlariga hamda optik yutilish chekkasiga ta’sir ko’rsatishi mumkinligini hisobga olish imkonini beradi [9,10,13].

Gamma nurlanish manbasi sifatida Co-60 izotopi tanlandi. Co-60 manbasi odatda 1,17 MeV va 1,33 MeV energiyali ikkita gamma-kvant chiqaradi. Mazkur modellashtirishda hisoblashni soddalashtirish maqsadida ushbu ikki energiya chizig’ining o’rtacha qiymati sifatida 1,25 MeV energiyali monoenergetik gamma-kvantlar oqimi qabul qilindi. Gamma-kvantlar plyonka yuzasiga perpendikulyar yo’nalishda tushadi deb olindi. Bunday geometriya plyonkada chuqurlik bo’yicha energiya yutilishini baholash uchun qulay hisoblanadi. Statistik ishonchlilikni oshirish maqsadida har bir hisoblash

bosqichida $5 \cdot 10^6$ ta gamma-kvant tarixi kuzatildi. Zarrachalar sonining katta tanlanishi plyonkada yuz beradigan kam ehtimolli o'zaro ta'sirlarni ham hisobga olish hamda energiya yutilishi taqsimotidagi statistik tebranishlarni kamaytirishga xizmat qiladi [1,2,12,13].

Geant4 muhitida Mg:ZnO plyonkasi uchun geometrik model yaratildi. Modelda plyonka o'lchamlari 10 mm × 10 mm × 500 nm qilib berildi. Gamma-kvantlar Co-60 manbasining o'rtacha energiyasiga mos ravishda 1,25 MeV energiyada generatsiya qilindi. Hisoblashlarda gamma-kvantlarning modda bilan asosiy o'zaro ta'sirlari, ya'ni fotoeffekt, Kompton sochilishi va juftlik hosil bo'lishi jarayonlari hisobga olindi [1,2]. 1,25 MeV energiya sohasida ZnO asosli materialda Kompton sochilishi asosiy jarayonlardan biri sifatida qaraladi. Plyonka qalinligi bo'yicha energiya yutilishi z koordinata bo'yicha mayda qatlamlarga ajratilgan holda hisoblandi. Har bir qatlam uchun yutilgan energiya qiymati eV birlikda qayd etildi. Natijalar z_nm — chuqurlik koordinatasi va edep_eV — shu qatlamda yutilgan energiya qiymati ko'rinishida CSV fayllarga chiqarildi. Umumiy yutilgan energiya alohida qatlamlarda qayd etilgan energiya yutilishlarining yig'indisi sifatida aniqlandi:

$$E_{dep,total} = \Sigma E_{dep,i} \quad (1)$$

Bu yerda Edep,total — plyonkada umumiy yutilgan energiya, Edep,i — i-qatlamda yoki alohida hodisada yutilgan energiya. Yutilgan doza va energiya orasidagi bog'lanish quyidagi ifoda orqali baholandi:

$$D = E_{dep}/m \quad (2)$$

Bu yerda D — yutilgan doza, Edep — yutilgan energiya, m — nurlantirilgan Mg:ZnO qatlam massasi. SI tizimida 1 Gy = 1 J/kg, 1 kGy = 1000 Gy. Qatlam massasi $2{,}75 \cdot 10^{-7}$ kg bo'lgani uchun 50 kGy doza taxminan $1{,}375 \cdot 10^{-2}$ J, 100 kGy doza esa $2{,}75 \cdot 10^{-2}$ J yutilgan energiyaga mos keladi. Ushbu qiymatlar doza darajalarini Geant4 hisoblaridan olingan energiya yutilishi bilan bog'lash uchun ishlatildi [1,2].

Geant4 hisoblaridan olingan energiya yutilishi natijalari Mg:ZnO plyonkasida radiatsion nuqsonlar hosil bo'lish ehtimoli bilan bog'lab talqin qilindi [1,2,12,16]. Shu asosda 0, 50 va 100 kGy dozalar uchun model XRD difraktogrammalari qurildi. Model XRD tahlilida cho'qqilar intensivligi, cho'qqi kengligi va 2θ burchagidagi kichik siljishlar radiatsion nuqsonlar, vakansiyalar va mikrodeformatsiyalar bilan bog'liq holda baholandi [17]. Bu grafiklar eksperimental XRD natijalari sifatida emas, balki gamma nurlanish ta'sirida yuzaga kelishi mumkin bo'lgan tuzilmaviy o'zgarishlarni modellashtiruvchi natijalar sifatida qaraldi.

Optik xossalarni baholash uchun 300–800 nm to'lqin uzunligi oralig'ida model optik yutilish spektrlari qurildi. Foton energiyasi va to'lqin uzunligi orasidagi bog'lanish $E = 1240/\lambda$ ifoda orqali hisobga olindi. Bu yerda E — foton energiyasi (eV), λ — to'lqin uzunligi (nm). Doza ortishi bilan absorbans intensivligining oshishi, yutilish chekkasining o'zgarishi va ko'rinadigan sohada qo'shimcha yutilish markazlarining paydo bo'lishi radiatsion defekt sathlari hamda kislorod vakansiyalari bilan izohlandi [18–20].

SRIM/TRIM dasturi Mg:ZnO qatlamida atom siljishlari, vakansiyalar va ionlashish jarayonlarini qo'shimcha baholash uchun ishlatildi [3,4]. Hisoblashlarda qatlam qalinligi 5000 Å, ya'ni 500 nm sifatida kiritildi. SRIM/TRIM gamma nurlanishni to'g'ridan-to'g'ri modellashtirmasligi sababli, undan olingan natijalar Co-60 gamma nurlanishining bevosita hisoblash natijasi sifatida talqin qilinmadi. Aksincha, bu natijalar radiatsion ta'sir natijasida panjarada nuqsonlar hosil bo'lishi mumkinligini fizik jihatdan asoslash uchun qo'shimcha model sifatida ishlatildi [3,4,12–16].

SRIM/TRIM natijalaridan asosan ikki turdagi ma'lumot ajratib olindi: ionlashish taqsimoti va atom siljishlari/vakansiyalar taqsimoti. Ionlashish taqsimoti optik yutilishdagi o'zgarishlarni tushuntirishga, atom siljishlari va vakansiyalar esa XRD cho'qqilarining kengayishi, intensivlik o'zgarishi va panjara tartibsizligini izohlashga xizmat qildi [3,4,17–20]. Shu tarzda Geant4 energiya yutilishini, SRIM/TRIM esa nuqson hosil bo'lish mexanizmini qo'shimcha tushuntirish uchun qo'llanildi.

Mazkur ishda XRD va optik yutilish spektrlari tajribada o'lchangan natijalar emas, balki Geant4 hisoblaridan olingan energiya yutilishi va radiatsion nuqsonlar haqidagi fizik tasavvurlar asosida qurilgan model natijalar sifatida baholandi. Shu sababli maqolada "kuzatildi" iborasi model grafiklar uchun "modelda namoyon bo'ldi", "baholandi" yoki "taxmin qilindi" shaklida ishlatilishi maqsadga muvofiqdir.

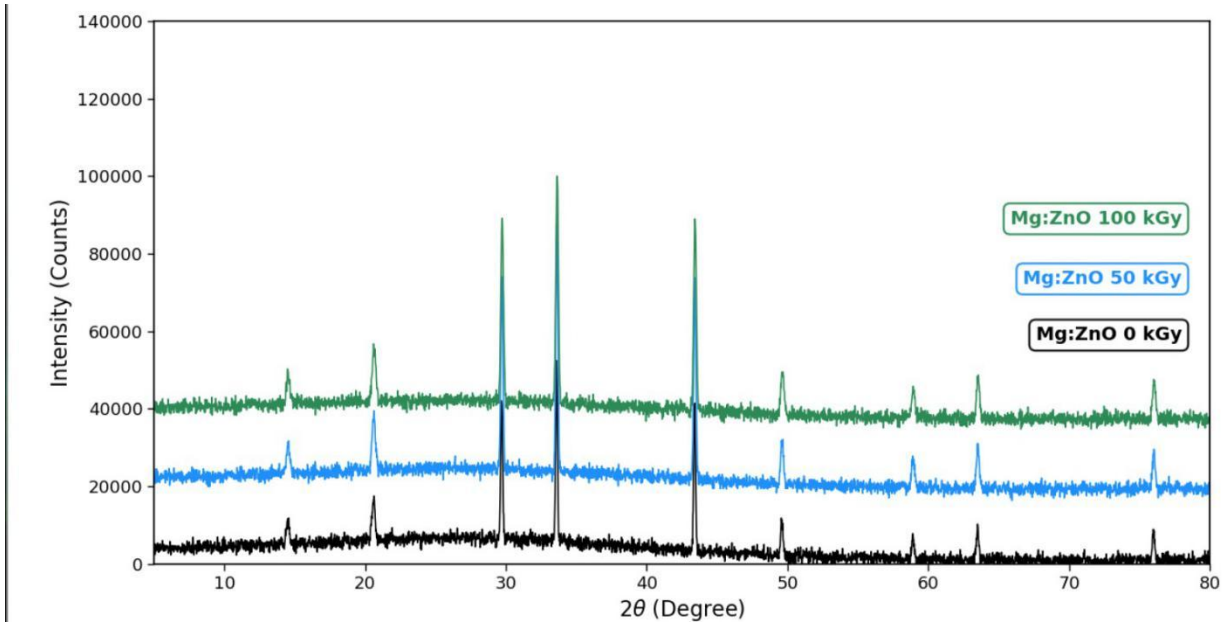
Ushbu metodik yondashuv Co-60 gamma nurlanishi sharoitida 5 at.% Mg bilan legirlangan ZnO plyonkasining radiatsion ta'sirga sezgirligini oldindan baholash imkonini beradi.

3. Natijalar va muhokama

Ushbu bo'limda 0,5 mkm qalinlikdagi Mg:ZnO plyonkalarining gamma nurlanish ta'siridagi tuzilmaviy va optik o'zgarishlari Geant4 hisoblari, model XRD, model optik yutilish va SRIM/TRIM natijalari asosida qisqa tahlil qilindi [1–4,12,13]. 0, 50 va 100 kGy dozalar mos ravishda nurlantirilmagan, o'rtacha va yuqoriroq radiatsion ta'sir holatlari sifatida qaraldi.

3.1. Model XRD natijalari

1-rasmda Mg:ZnO plyonkalarining 0, 50 va 100 kGy dozalar uchun model XRD difraktogrammalari berilgan. Asosiy cho'qqilar deyarli bir xil 2θ sohalarida saqlanib qolgan. Bu gamma nurlanishdan keyin Mg:ZnO plyonkasining asosiy kristall tuzilmasi butunlay buzilmaganini ko'rsatadi [17].

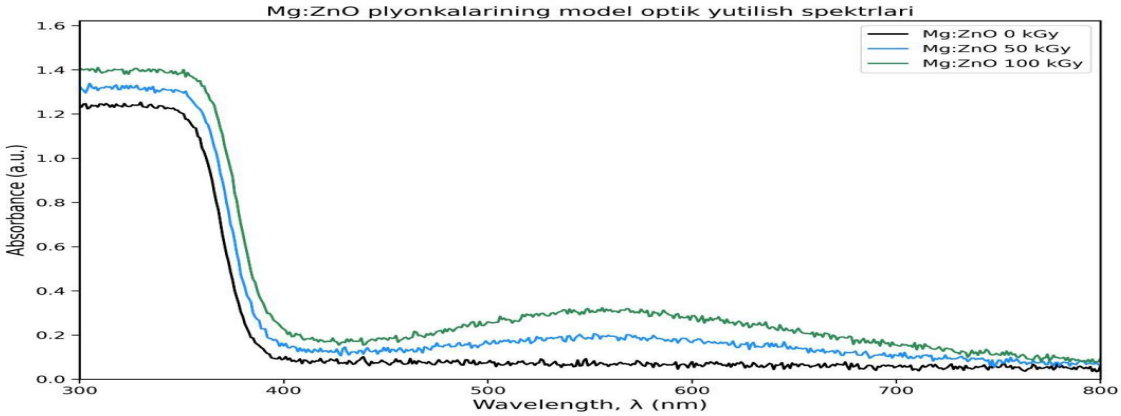


1-rasm. Co-60 gamma nurlanishining 0, 50 va 100 kGy dozalaridan keyingi 5 at.% Mg:ZnO plyonkasi uchun model XRD difraktogrammalari.

Doza ortishi bilan cho'qqilar shakli va fonida kichik o'zgarishlar modelda namoyon bo'ladi. Bu o'zgarishlar radiatsion nuqsonlar, atom siljishlari, vakansiyalar va mikrodeformatsiyalar hosil bo'lishi bilan izohlanadi [12–17]. Ayniqsa 100 kGy holatida fonning yuqoriroq ko'rinishi va cho'qqilar atrofidagi tartibsizlik radiatsion ta'sir kuchayganini bildiradi. Yangi kuchli begona faza cho'qqilarining aniq ko'rinmasligi Mg:ZnO fazasi saqlanganini anglatadi [9–13].

3.2. Model optik yutilish natijalari

2-rasmda Mg:ZnO plyonkalarining 300–800 nm oralig'idagi model optik yutilish spektrlari ko'rsatilgan. Barcha spektrlarda 300–370 nm oralig'ida yuqori yutilish, 370–400 nm atrofida esa keskin pasayish modelda namoyon bo'ladi. Bu soha Mg:ZnO plyonkasining asosiy optik yutilish chekkasi bilan bog'liq [18–20].

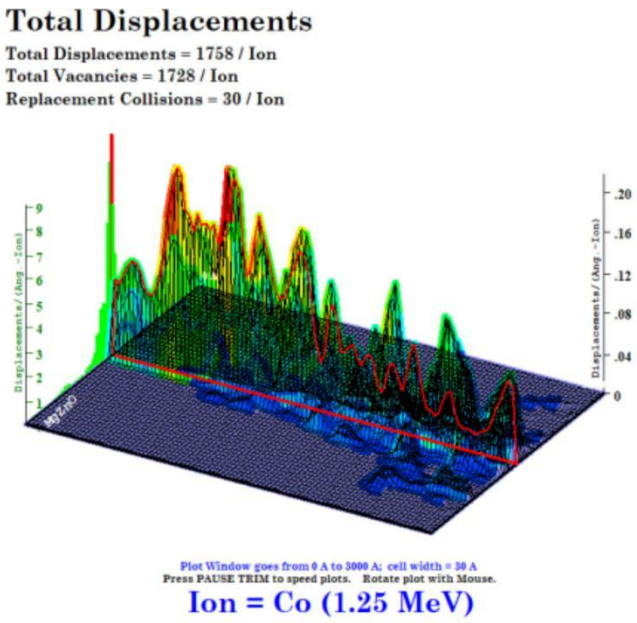


2-rasm. Co-60 gamma nurlanishi ta'sirida 5 at.% Mg:ZnO plyonkasining 300–800 nm oralig'idagi model optik yutilish spektrlari.

Gamma nurlanish dozasi ortishi bilan absorbance qiymati oshishi model asosida baholandi: 0 kGy holatida eng past, 50 kGy holatida o'rtacha va 100 kGy holatida eng yuqori yutilish namoyon bo'ldi. 450–700 nm oralig'ida 50 va 100 kGy spektrlarda qo'shimcha yutilish paydo bo'lishi taxmin qilindi. Bu radiatsion nuqsonlar, kislorod vakansiyalari va taqiqlangan zona ichida hosil bo'ladigan defekt sathlari bilan bog'liq bo'lishi mumkin [12,13,18–20].

3.3. SRIM/TRIM natijalari

3-rasmda SRIM/TRIM hisobida ion ta'sirida Mg:ZnO panjarasida hosil bo'ladigan atom siljishlari va vakansiyalar ko'rsatilgan [3,4]. Natijaga ko'ra, umumiy atom siljishlari 1758/ion, umumiy vakansiyalar 1728/ion va almashinish to'qnashuvlari 30/ion qiymatlarni tashkil etadi. Bu Mg:ZnO panjarasida radiatsion ta'sir natijasida sezilarli nuqsonlar paydo bo'lishi mumkinligini bildiradi [3,4,12–16].

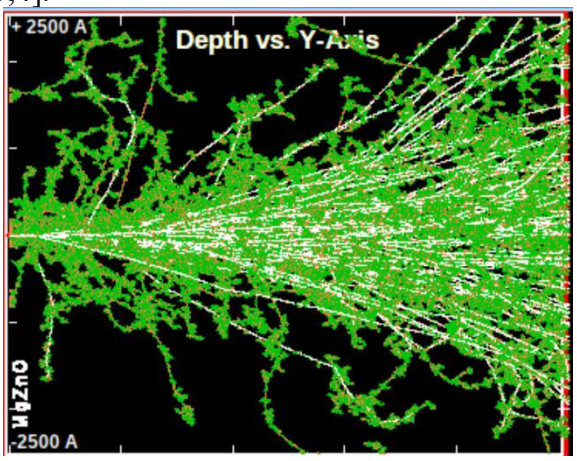


3-rasm. Mg:ZnO panjarasida ion ta'sirida hosil bo'lishi mumkin bo'lgan atom siljishlari va vakansiyalarning SRIM/TRIM bo'yicha baholanishi.

Vakansiyalar va atom siljishlari kristall panjarada lokal tartibsizlik hosil qiladi. Shu sababli ular XRD cho'qqilarining kengayishi, intensivlik o'zgarishi va mikrodeformatsiya bilan bevosita bog'lanadi [17]. Ushbu SRIM/TRIM natijasi model XRD difraktogrammalarida namoyon bo'lgan tuzilmaviy o'zgarishlarni fizik jihatdan tushuntirishga yordam beradi [3,4].

4-rasmda ionlarning Mg:ZnO qatlam ichidagi harakati va recoil kaskadlari tasvirlangan. Ionlar qatlam ichida chuqurlik bo'yicha kirib borib, yonlama yo'nalishda ham tarqaladi. Zich trayektoriyalar

ko‘p to‘qnashuvlar sodir bo‘lgan hududlarni ko‘rsatadi. Bu hududlarda atom siljishlari va nuqson hosil bo‘lish ehtimoli yuqori bo‘ladi [3,4].



4-rasm. Mg:ZnO qatlamida ion trayektoriyalari va recoil kaskadlarining SRIM/TRIM bo‘yicha taqsimot

SRIM/TRIM gamma nurlanishni bevosita modellashtirmaydi. Bu natijalar radiatsion nuqsonlar hosil bo‘lishini qo‘shimcha baholash uchun ishlatildi [3,4]. Shuning uchun SRIM/TRIM tahlili Geant4 natijalari, model XRD va model optik yutilish spektrlari bilan birga Mg:ZnO plyonkasining radiatsion ta’sirga javobini izohlashda qo‘shimcha asos bo‘lib xizmat qiladi [1–4,12–16].

3.4. Umumiy talqin

Olingan natijalar birgalikda qaralganda, gamma nurlanish Mg:ZnO plyonkasida energiya yutilishi, radiatsion nuqsonlar va optik javob o‘zgarishlarini yuzaga keltirishi mumkin [12–16]. Model XRD natijalari tuzilmaviy tartib saqlangan holda panjarada nuqsonlar va mikrodeformatsiyalar paydo bo‘lishini ko‘rsatadi [17]. Model optik yutilish spektrlari esa doza oshishi bilan yutilish kuchayishini bildiradi [18–20]. SRIM/TRIM hisoblari bu o‘zgarishlarni atom siljishlari va vakansiyalar hosil bo‘lishi bilan izohlaydi [3,4].

Shunday qilib, 0, 50 va 100 kGy dozalar bo‘yicha olingan model natijalar Mg:ZnO plyonkalarining gamma nurlanishga sezgirligini ko‘rsatadi [12,13]. Tuzilmaviy o‘zgarishlar asosan vakansiyalar va panjara tartibsizligi bilan, optik o‘zgarishlar esa defekt sathlari va qo‘shimcha yutilish markazlari bilan bog‘liq deb talqin qilindi [17–20].

Izoh: XRD va optik yutilish grafiklari Geant4 hisoblari asosida qurilgan model natijalar sifatida talqin qilindi [1,2]. SRIM/TRIM natijalari esa radiatsion nuqsonlar hosil bo‘lishini qo‘shimcha baholash uchun ishlatildi [3,4].

4. Xulosa

Ushbu ishda qalinligi 0,5 mkm, ya’ni 500 nm bo‘lgan Mg:ZnO plyonkalarining gamma nurlanish ta’siridagi tuzilmaviy va optik xossalari Geant4 hamda SRIM/TRIM dasturlari yordamida modellashtirildi [1–4]. Gamma nurlanish ta’siri 0, 50 va 100 kGy dozalar uchun tahlil qilindi. Geant4 natijalari asosida plyonka ichida energiya yutilishi va uning chuqurlik bo‘yicha taqsimoti baholandi [1,2].

Model XRD natijalari 0, 50 va 100 kGy dozalar uchun Mg:ZnO plyonkada asosiy difraksiya cho‘qqilari saqlanib qolishini ko‘rsatdi. Bu holat gamma nurlanishdan keyin plyonkaning asosiy kristall fazasi butunlay buzilmasligini bildiradi. Shu bilan birga, cho‘qqilar shakli, intensivlik o‘zgarishi va fonning ortishi radiatsion nuqsonlar, atom siljishlari va mikrodeformatsiyalar paydo bo‘lishi mumkinligini ko‘rsatadi [12–17].

Model optik yutilish spektrlarida 300–370 nm oralig‘ida kuchli yutilish, 370–400 nm oralig‘ida esa yutilish chekkasi modelda namoyon bo‘ldi. Gamma nurlanish dozasi ortishi bilan absorbans qiymati oshishi taxmin qilindi: 100 kGy dozadagi model namuna eng yuqori optik yutilishga ega bo‘ldi. Bu holat nurlanish natijasida defekt sathlari, kislorod vakansiyalari va qo‘shimcha yutilish markazlari hosil bo‘lishi mumkinligi bilan izohlanadi [12,13,18–20].

SRIM/TRIM natijalari Mg:ZnO plyonkada radiatsion ta’sir natijasida atom siljishlari va vakansiyalar hosil bo‘lishi mumkinligini qo‘shimcha model sifatida ko‘rsatdi [3,4]. Hisoblashlarda umumiy atom siljishlari 1758/ion, umumiy vakansiyalar 1728/ion, almashinish to‘qnashuvlari esa 30/ion qiymatida baholandi. Bu qiymatlar Mg:ZnO panjarasida ion ta’sirida sezilarli nuqsonlar yuzaga kelishi mumkinligini tasdiqlaydi. Ushbu nuqsonlar XRD cho‘qqilarining kengayishi va optik yutilish intensivligining ortishini fizik jihatdan tushuntirishga xizmat qiladi [17–20].

Umuman olganda, olingan natijalar gamma nurlanish Mg:ZnO plyonkalarining tuzilmaviy va optik xossalariga sezilarli ta’sir ko‘rsatishi mumkinligini ko‘rsatadi [12–16]. Geant4 natijalari energiya yutilishini [1,2], SRIM/TRIM natijalari esa atom siljishlari va vakansiyalar hosil bo‘lishini tushuntirib berdi [3,4]. Model XRD va optik yutilish spektrlari esa bu radiatsion ta’sirlarning plyonka xossalarida qanday namoyon bo‘lishini ko‘rsatdi [17–20]. Shu sababli Mg:ZnO plyonkalarini radiatsion muhitda ishlaydigan optoelektron qurilmalar, UV-detektorlar va sensor elementlari uchun istiqbolli material sifatida ko‘rib chiqish mumkin [9–16].

Tadqiqot natijalari shuni ko‘rsatdiki, 0,5 mkm qalinlikdagi Mg:ZnO plyonkada gamma nurlanish dozasi ortishi bilan radiatsion ta’sir kuchayishi mumkin. Bu ta’sir, birinchi navbatda, plyonka ichida energiya yutilishining ortishi, atom siljishlari va vakansiyalar hosil bo‘lishi bilan bog‘liq [1–4,12–16]. SRIM/TRIM bo‘yicha olingan 1758/ion atom siljishi va 1728/ion vakansiya qiymatlari Mg:ZnO kristall panjarasida radiatsion nuqsonlar hosil bo‘lish ehtimoli yuqori ekanligini ko‘rsatadi [3,4].

Ushbu nuqsonlar tuzilmaviy jihatdan XRD cho‘qqilarining shakli va intensivligiga, optik jihatdan esa yutilish spektrining ortishiga ta’sir qiladi [17–20]. Ayniqsa 100 kGy dozada optik yutilishning kuchayishi radiatsion defektlar soni ortganini bildiradi. Demak, Mg:ZnO plyonkalari gamma nurlanishga sezgir bo‘lib, ularning xossalarini nurlanish dozasi orqali boshqarish mumkin. Bu esa mazkur materialni radiatsion sensorlar, optik detektorlar va nurlanishga chidamli yarimo‘tkazgich qurilmalar uchun amaliy jihatdan muhim material sifatida baholash imkonini beradi [9–16].

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. Agostinelli S., Allison J., Amako K. va boshq. Geant4 — a simulation toolkit. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A. 2003. Vol. 506. P. 250–303. DOI: 10.1016/S0168-9002(03)01368-8.
2. Allison J., Amako K., Apostolakis J. va boshq. Geant4 developments and applications. IEEE Transactions on Nuclear Science. 2006. Vol. 53, No. 1. P. 270–278. DOI: 10.1109/TNS.2006.869826.
3. Ziegler J. F., Ziegler M. D., Biersack J. P. SRIM — The stopping and range of ions in matter. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B. 2010. Vol. 268. P. 1818–1823. DOI: 10.1016/j.nimb.2010.02.091.
4. Ziegler J. F., Biersack J. P., Littmark U. The Stopping and Range of Ions in Solids. New York: Pergamon Press, 1985.
5. Özgür Ü., Alivov Ya. I., Liu C., Teke A., Reshchikov M. A., Doğan S., Avrutin V., Cho S.-J., Morkoç H. A comprehensive review of ZnO materials and devices. Journal of Applied Physics. 2005. Vol. 98. 041301. DOI: 10.1063/1.1992666.
6. Klingshirn C. ZnO: From basics towards applications. Physica Status Solidi (b). 2007. Vol. 244. P. 3027–3073. DOI: 10.1002/pssb.200743072.
7. Wang Z. L. Zinc oxide nanostructures: growth, properties and applications. Journal of Physics: Condensed Matter. 2004. Vol. 16. P. R829–R858. DOI: 10.1088/0953-8984/16/25/R01.
8. Morkoç H., Özgür Ü. Zinc Oxide: Fundamentals, Materials and Device Technology. Weinheim: Wiley-VCH, 2009.
9. Rouchdi M., Salmani E., Fares B., Hassanain N., Mzerd A. Synthesis and characteristics of Mg doped ZnO thin films: Experimental and ab-initio study. Results in Physics. 2017. Vol. 7. P. 620–627. DOI: 10.1016/j.rinp.2017.01.023.
10. Fang D., Li C., Li N. va boshq. Structural and optical properties of Mg-doped ZnO thin films. Crystal Research and Technology. 2013. Vol. 48. P. 265–272. DOI: 10.1002/crat.201200437.

11. Ivanova T., Harizanova A., Koutzarova T. va boshq. Deposition of sol–gel ZnO:Mg films and investigation of their structural and optical properties. Materials. 2022. Vol. 15. 8883. DOI: 10.3390/ma15248883.
12. Duinong M., Rasmidi R., Chee F. P., Moh P. Y., Salleh S., Mohd Salleh K. A., Ibrahim S. Effect of gamma radiation on structural and optical properties of ZnO and Mg-doped ZnO films paired with Monte Carlo simulation. Coatings. 2022. Vol. 12, No. 10. 1590. DOI: 10.3390/coatings12101590.
13. Pervez M. F., Mia M. N. H., Hossain S. va boshq. Influence of total absorbed dose of gamma radiation on optical bandgap and structural properties of Mg-doped zinc oxide. Optik. 2018. Vol. 162. P. 140–150. DOI: 10.1016/j.ijleo.2018.02.063.
14. Reyhani A., Gholizadeh A., Khanlary M. Effect of gamma radiation on the optical and structural properties of ZnO nanowires with various diameters. Optical Materials. 2018. Vol. 75. P. 236–242. DOI: 10.1016/j.optmat.2017.10.020.
15. Kumar V. V. S. va boshq. Effect of gamma ray irradiation on structural and surface properties of ZnO thin films. Radiation Physics and Chemistry. 2021. Vol. 189. 109726. DOI: 10.1016/j.radphyschem.2021.109726.
16. Arshak K., Korostynska O. Response of metal oxide thin film structures to radiation. Materials Science and Engineering B. 2006. Vol. 133. P. 1–7. DOI: 10.1016/j.mseb.2006.05.015.
17. Cullity B. D., Stock S. R. Elements of X-Ray Diffraction. 3rd ed. New Jersey: Prentice Hall, 2001.
18. Tauc J., Grigorovici R., Vancu A. Optical properties and electronic structure of amorphous germanium. Physica Status Solidi (b). 1966. Vol. 15. P. 627–637. DOI: 10.1002/pssb.19660150224.
19. Pankove J. I. Optical Processes in Semiconductors. New York: Dover Publications, 1971.
20. Bube R. H. Photoconductivity of Solids. New York: John Wiley & Sons, 1960.