

ERBIY BILAN LEGIRLANGAN KREMNIYNING IK SPEKTR TAHLILI

Hamdamov J.J

Erkinov M.U

Alikulov B.Sh

O'zbekiston Milliy universiteti huzuridagi yarimo'tkazgichlar fizikasi va mikroelektronika instituti, Toshkent, O'zbekiston e-mail:mirzadavlat5711@gmail.com

Annotatsiya: *Ushbu ilmiy ishda erbiy (Er) elementi bilan legirlangan kremniy (Si) materialining optik va elektrofizik xususiyatlari infraqizil (IK) spektroskopiya yordamida batafsil o'rganildi. Tadqiqot natijalariga ko'ra, erbiy ionlarining kremniy kristall panjarasiga kiritilishi materialning optik xususiyatlarini sezilarli darajada o'zgartirishi aniqlandi. Ayniqsa, 1.54 mikrometr (μm) to'lqin uzunligida yorug'likni yutish va lyuminesensiya xususiyati kuzatildi, bu esa ushbu materiallarni optik telekommunikatsiya tizimlarida qo'llash imkoniyatini kengaytiradi. Bundan tashqari, erbiyning legirlanishi materialning fotonlarni qayta nurlanishi va energiya saqlash qobiliyatini oshirib, optik kuchaytirgichlar va lazer qurilmalari samaradorligini yaxshilaydi [1, 6]. Shu sababli, erbiy bilan legirlangan kremniy materiallari yuqori samarali fotodetektorlar, fotovoltaik elementlar, shuningdek, telekommunikatsiya va fotonika sohasidagi boshqa ilg'or optik qurilmalarda qo'llash uchun istiqbolli hisoblanadi. Tadqiqot shuni ko'rsatadiki, erbiy ionlarining konsentratsiyasi va kristall panjarasiga kiritilish usuli materialning optik va elektrofizik xususiyatlarini boshqarishda muhim rol o'ynaydi, bu esa kelajakda yangi turdagi nanooptik va fotonika tizimlarini yaratishda muhim ahamiyat kasb etadi [2, 3].*

Kalit so'zlar: *erbiy, legirlangan kremniy, infraqizil spektroskopiya, lyuminesensiya, optik xususiyatlar, elektrofizik xususiyatlar, Choxralskiy usuli, diffuziya, termal ishlov berish, sovitish tezligi, nanooptika, fotonika.*

KIRISH

Ushbu tadqiqotda dastlabki namunalar sifatida Choxralskiy usulida tayyorlangan, solishtirma qarshiligi $35 \text{ Om} \cdot \text{sm}$ bo'lgan KEF markali kremniy monokristallari tanlab olindi. Monokristalldan eksperimental ishlov uchun to'g'ri burchakli parallelepiped shaklida plastinkalar tayyorlandi, ularning har birining geometrik o'lchamlari $12 \times 6 \times 1,4 \text{ mm}$ ni tashkil etdi. Tayyor namunalar maxsus kimyoviy tozalash jarayonidan o'tkazilib, sirt iflosliklari, oksid qatlamlari va boshqa mikrodefektlar olib tashlandi. Bu bosqich kremniy yuzasida bir xil diffuziya sharoitlarini yaratish va legirlashning samaradorligini oshirish uchun muhim ahamiyatga ega bo'ladi [1, 5].

Erbiy atomlarining kremniy kristall panjarasiga diffuziyasi yuqori haroratli LOIP LF-20/250-1200 markali pechda amalga oshirildi. Diffuziya jarayoni 1473 K haroratda, 5 soat davomida olib borildi. Bunday sharoitlar erbiy atomlarining kremniy ichida yetarli chuqurlikda va nisbatan bir tekis taqsimlanishini ta'minlashga imkon

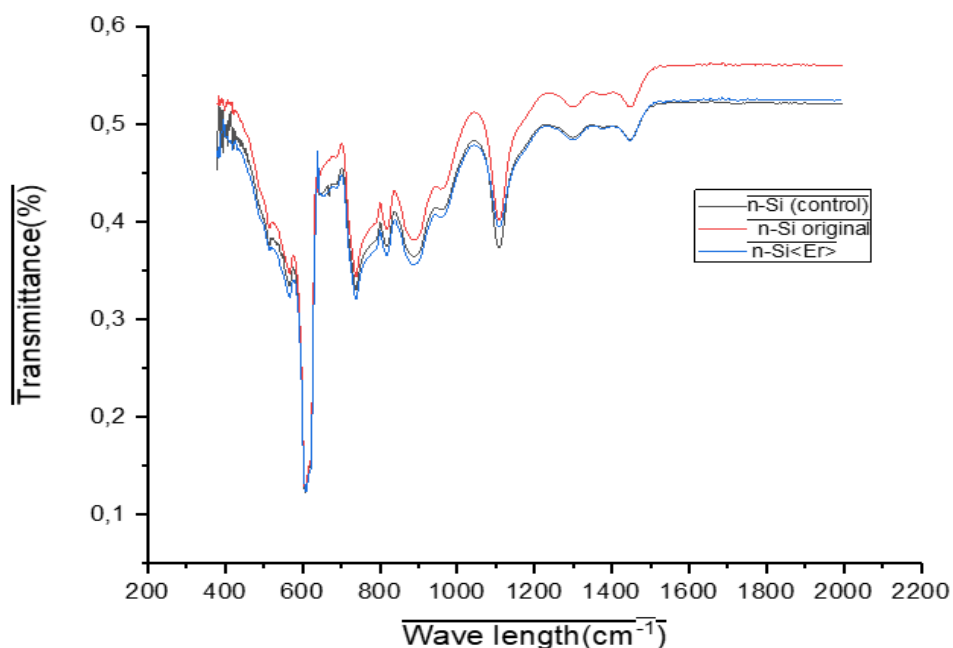
berdi. Shu bilan birga, yuqori harorat diffuziya jarayonida atomlarning kristall panjaraga birikish kinetikasini tezlashtirib, optik faol markazlarning samarali hosil bo'lishini rag'batlantiradi [2, 4].

Legirlashdan so'ng namunalar ikki xil sovitish rejimida qayta ishlovdan o'tkazildi. Birinchi holatda sovitish yuqori 250 K/s tezlikda amalga oshirildi. Bu usul natijasida struktura ichida termodinamik jihatdan barqaror bo'lmagan holatlar saqlanib qoladi va kristall panjarada mikrodeformatsiyalar hosil bo'ladi. Ikkinchi holatda esa namunalar sekin sovitilib, sovitish tezligi 0.1 K/s ni tashkil etdi. Asta-sekin sovitish kremniy kristall panjarasida diffuziyalangan erbiy ionlarining energetik barqaror holatlarda joylashuvini ta'minlashga xizmat qildi, bu esa optik xususiyatlarning takrorlanadigan va barqaror bo'lishini kafolatladi.

Turli sovitish sharoitlarida olingan namunalar keyinchalik strukturaviy (rentalografiya va mikroskopik tekshiruvlar yordamida), optik (IK spektroskopiya va lyuminesensiya o'lchovlari) va elektrofizik (qarshilik, konduktivlik va mobilite) jihatdan tahlil qilindi. Bu esa legirlash va issiqlik ishlov berish texnologiyalarining kremniyning fizik xossalariga ta'sirini chuqurroq tushunishga imkon beradi [4, 5].

Tajriba davomida tayyorlangan namunalarni IK spektrometri yordamida o'rganish orqali optik faol panjara ichidagi kislorod (Oi) va uglerod (Cs) konsentratsiyalari o'zgarishi aniqlandi. Shu bilan birga, turli termik ishlov berish sharoitlarida Er ionlarining hosil bo'lgan optik markazlar bilan bog'lanish xususiyatlari va yutilish spektrining zichligi o'rganildi. Bunda dastlabki namuna, termik ishlov berilgan namuna hamda n-Si<Er> namunalarini natijalari solishtirildi. Natijalar shuni ko'rsatdiki, Er ionlarining konsentratsiyasi, sovitish tezligi va sirt tozaligi materialning optik va elektrofizik xususiyatlariga sezilarli ta'sir ko'rsatadi, bu esa kelajakda yuqori samarali optik qurilmalarni loyihalashda muhim parametr hisoblanadi [5, 6].

Tadqiqot natijalari



1-rasm. FTER spektr tahlili.

1-jadval

No	Nomi	Muhit	Temperatura(C)	Vaqt(s)	O ₂ (sm ⁻¹)	C(sm ⁻¹)
1.	Dastlabgi na'muna n-Si	--	--	--	2.56*10 ¹⁷	2.144*10 ¹⁷
2.	Termik ishlov berilgan na'muna n-Si	Ampulada sekin sovutilgan	1200 C	5 soat	12.68*10 ¹⁷	2.18*10 ¹⁷
3.	Kirishma kiritilgan na'muna n-Si <Er>	Ampulada sekin sovutilgan	1200 C	5 soat	10.02*10 ¹⁷	1.39*10 ¹⁷

Erbiiy (Er) bilan legirlangan kremniy (n-Si<Er>) namunalarining infraqizil (IR) spektr tahlili orqali termik ishlovning kislorod (O₂) va uglerod (C) konsentratsiyasiga ta'siri batafsil o'rganildi. 1200 °C da 5 soat davom etgan termik ishlovdan so'ng O₂ miqdori dastlab 2.56×10¹⁷ sm⁻³ dan 12.68×10¹⁷ sm⁻³ gacha (ya'ni 3.95 barobar) oshdi, bu Si-O bog'lanishlarining sezilarli darajada ko'payganini ko'rsatadi va kristall panjaraning oksidlanish darajasi ortganini bildiradi. Shu bilan birga, Erbiiy kiritilgan namunada O₂ konsentratsiyasi 10.02×10¹⁷ sm⁻³ (2.91 barobar) ni tashkil etdi, bu Er atomlarining panjara deformatsiyasi zonalari sababli diffuziyaning qisman cheklangani bilan izohlanadi.

Uglerod (C) konsentratsiyasi termik ishlovdan keyin biroz oshgan bo'lsa-da, Er bilan legirlangan namunada u 35 % ga kamaydi. Bu hodisa Si-C bog'lanishlarining termik ta'sir va Er legirlanishi natijasida qisman buzilishi, shuningdek, uglerodning diffuziya orqali kristall yuzasidan chiqib ketishi bilan izohlanadi. IR spektr tahlilida bu jarayonlar aniq ko'zga tashlandi: Si-O chiziqlarining intensivligi ortgan, Si-C cho'qqilari esa sezilarli darajada kamaygan. Bu kuzatishlar kristall panjarada atomlar o'rtasidagi kimyoviy bog'lanishlar dinamikasining o'zgarishini ko'rsatadi va Er ionlarining faolligi bilan bog'liq. Shuningdek, tahlillar shuni ko'rsatdiki, Er legirlanishi nafaqat kimyoviy tarkibga, balki kristall panjaraning mikroskopik tuzilishiga ham ta'sir qiladi. Er atomlari panjarada lokal deformatsiyalar hosil qilib, optik faol markazlar (Er³⁺ ionlari) shakllanishini faollashtiradi. Bu esa lyuminesensiya va yutilish spektrining intensivligini oshirib, materialning optik faolligini yaxshilaydi. Natijalar shuni ko'rsatadiki, termik ishlov va Er legirlanishi birgalikda kremniy panjarasining tarkibiy va elektron tuzilishini optimallashtirishga xizmat qiladi, bu esa yuqori samarali fotonika va optoelektronika qurilmalarida, xususan, optik kuchaytirgichlar, lazerlar va fotodetektorlar ishlab chiqishda muhim ahamiyatga ega.

IR spektrdagi ma'lumotlar asosida Er legirlangan kremniy namunalarida oksid va karbid konsentratsiyalarining boshqarilishi orqali materialning optik va elektrofizik xossalari oldindan aniqlash mumkinligi aniqlangan. Shu bilan birga, olingan natijalar termik ishlov berish sharoitlarini optimallashtirish orqali Er ionlarining panjarada teng taqsimlanishini va yuqori optik samaradorlikni ta'minlash mumkinligini

ko'rsatadi. Bu tadqiqot kremniy asosli fotonika va nanooptika tizimlarida yangi materiallar ishlab chiqish uchun amaliy yo'l xaritasini beradi.

Xulosa

Tadqiqot natijalari shuni ko'rsatadiki, erbiy bilan legirlangan kremniy namunalarda termik ishlov jarayoni panjara tarkibidagi kislorod va uglerodning qayta taqsimlanishiga sezilarli ta'sir ko'rsatadi. Oksid komponentlarining ortishi kristall panjarada kimyoviy bog'lanishlarning qayta shakllanishiga olib kelgan bo'lsa, uglerodning kamayishi karbid strukturalarining barqarorligini susaytirganini bildiradi. Er ionlari tomonidan hosil qilinadigan lokal deformatsiyalar esa panjaraning mikrostrukturasini o'zgartirib, optik faol markazlarning shakllanishiga olib keladi. Buning natijasida materialning yutilish, nurlanish va optik faollik ko'rsatkichlari yaxshilanadi. Olingan natijalar Er-Si tizimida termik ishlov parametrlarini to'g'ri tanlash orqali optoelektron qurilmalar uchun barqaror va samarali faol qatlamlar yaratish mumkinligini tasdiqlaydi.

ADABIYOTLAR:

1. Aynul Islam ., Anika Tasnim .“Erbium Related Photoluminescence of Silicon: Influence of Co-doping with Oxygen and Hydrogenation” International Conference on Advanced Engineering and Technology (ICAET 2020) doi:10.1088/1757-899X/1117/1/012005
2. Далиев Х.С., Лебедев А.А., Экке В. Исследование электрофизических свойств кремниевых МДП-структур, облученных γ - квантами при наличии электрического поля в диэлектрике. ФТП, 1987, т.21, в.1, с.23-29. (№11. Springer, IF: 0.603).
3. O. V. Aleksandrov., A. O. Zakhar'in., N. A. Sobolev and Yu. A. Nikolaev. Electrical Properties of Silicon Layers Implanted with Erbium and Oxygen Ions in a Wide Dose Range and Thermally Treated in Different Temperature Conditions. Ioffe Physicotechnical Institute, Russian Academy of Sciences, St. Petersburg, Russia(2001).
4. Н.А.Соболев.Кремний, легированный эрбием новый полупроводниковый материал для оптоэлектроники. Рос. хим. ж. (Ж. Рос. хим. об-ва им. Д.И. Менделеева), 2001, т. XLV, № 5-6.
- 5 Ammerlaan, C. A. J., & de Maat-Gersdorf, I. — Spectroscopic Characterisation of Erbium Impurity in Crystalline Silicon. Solid State Phenomena. scientific.net
- 6 Utamuradova, S. B., Daliev, K. S., Khaitbaev, A. I., va boshqalar — Defect Structure of Silicon Doped with Erbium. East European Journal of Physics, 2024.