

SI(111) YUZASIDA HOSIL QILINGAN $ZrSi_2$ PLYONKASINING YUZA MORFOLOGIYASI

I.R. Bekpulatov¹, J.T. Abduraximov¹, B.Dj. Igamov², B.E. Turayev³

¹*Qarshi Davlat Universiteti, 180119, Qarshi, O'zbekiston.*

²*O'zbekiston Fanlar Akademiyasi, Konstruktorlik byurosi va tajriba ishlab chiqarish ilmiy-texnika markazi.*

³*Toshkent amaliy fanlar universiteti*

Anotatsiya. Ushbu tadqiqot doirasida Zr bilan qoplangan Si(111) yarimo'tkazgich podloshkaning yuqori harorat vakuum sharoitidagi sirt morfologiyasi o'rganildi. Eksperimental sinovlar davomida Zr/Si(111) namunasi yuqori vakuum ostida **950 °C** gacha qizdirildi. Ushbu haroratda qoplama yuzasida sezilarli morfologik o'zgarishlar kuzatildi, jumladan, **mikroyoriqlar** va **halqa ko'rinishidagi strukturalar** hosil bo'lgani aniqlandi.

Kalit so'zlar. $ZrSi_2$ yupqa plyonkasi, intermetall silitsid fazalar, skanerlovchi elektron mikroskop (SEM), metall–oksid–yarimo'tkazgich (MOYa), **Zr/Si(111) sirtining morfologik evolyutsiyasi.**

Kirish. So'nggi yillarda nanomasshtabli arxitekturaga ega kompozit materiallarning fizik-kimyoviy xossalarini chuqurroq va tizimli ravishda o'rganishga bo'lgan ilmiy-texnologik ehtiyoj sezilarli darajada ortmoqda. Ayniqsa, yarimo'tkazgich podloshkalari bilan yuqori integratsiyalashgan metall yupqa plyonka tizimlarining fazaviy barqarorligi, morfologik evolyutsiyasi va harorat ta'sirida sodir bo'ladigan transformatsiya jarayonlari alohida qiziqish uyg'otadi. Ushbu jarayonlar zamonaviy nanofotonika, nanoelektronika, mikroelektronika hamda metall–oksid–yarimo'tkazgich (MOYa) texnologiyalaridagi eng dolzarb ilmiy va muhandislik muammolaridan biridir [1–3].

Ushbu murakkab transformatsiyalarni — xususan, ularning struktura fazalariga, sirt morfologiyasiga, termal barqarorlikka va oksidlanish qarshiligiga ta'sirini — chuqur anglash yuqori unumli funksional qurilmalarga materiallarni ishonchli va samarali integratsiya qilish uchun muhim ahamiyatga ega. Shu nuqtayi nazardan, zirkoniy (Zr) va kremniy (Si) o'rtasidagi yuqori haroratli o'zaro diffuziya natijasida Zr_5Si_3 , ZrSi va $ZrSi_2$ kabi bir qator intermetall silitsid fazalari hosil bo'ladi. Bu fazalar o'zlarining struktura, mexanik va funksional xossalari bilan bir-biridan keskin farq qiladi [4–6].

Mazkur fazalar kristallografik tuzilishi, elektr o'tkazuvchanligi, termal barqarorligi va oksidlanishga chidamliligi bo'yicha sezilarli darajada farqlanadi; shu sababli ular zamonaviy texnologiyalarning turli yo'nalishlarida istiqbolli materiallar sifatida qaraladi [7,8].

Ushbu birikmalar orasida **zirkoniy disilisid ($ZrSi_2$)** o'zining yuqori termo-mexanik barqarorligi, mukammal tartiblangan kristall tuzilishi va noyob optik xususiyatlari bilan ajralib turadi.

Natijalar va muhokama

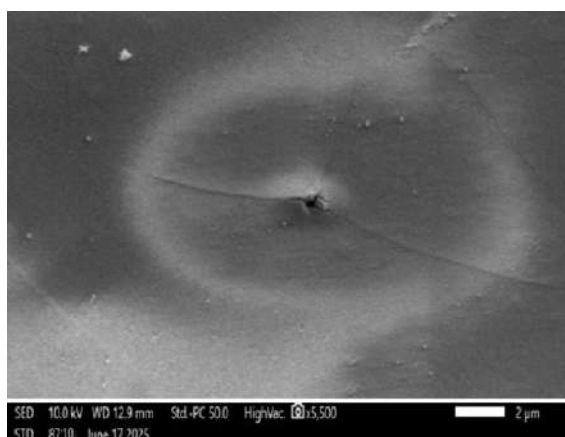
Mazkur tadqiqot doirasida magnetron purkash (sputtering) usuli yordamida Si(111) kristall podloshka ustiga cho'ktirib olingan yupqa Zr qoplamaning morfologik va tarkibiy xususiyatlari kompleks ravishda tahlil qilindi. Morfologik tadqiqotlar zamonaviy JEOL JSM-IT210 rusumli skanerlovchi elektron mikroskop (SEM) yordamida olib borildi.

Yuqori haroratlarda Zr/Si(111) sirtining morfologik evolyutsiyasi

Ushbu tadqiqot doirasida Zr bilan qoplangan Si(111) yarimo'tkazgich podloshkaning yuqori harorat sharoitidagi sirt morfologiyasi vakuum muhitida o'rganildi. Eksperimental sinovlar davomida Zr/Si(111) namunasi yuqori vakuum ostida **950 °C** gacha qizdirildi. Ushbu haroratda qoplama yuzasida sezilarli morfologik o'zgarishlar kuzatildi, jumladan, **mikroyoriqlar** va **halqa ko'rinishidagi strukturalar** hosil bo'lgani aniqlandi.

Skanerlovchi elektron mikroskop (SEM) yordamida olib borilgan tahlillar dastlab sirt qatlamida mikroyoriqlar paydo bo'lishini, ularning atrofida esa diametri asosiy yoriqlardan **15–20 baravar katta** bo'lgan **halqasimon morfologik strukturalar** shakllanishini ko'rsatdi (1-rasm). Bu hodisa yuqori haroratda sodir bo'ladigan murakkab fizik-kimyoviy jarayonlar — xususan, interfeysda kechuvchi **kimyoviy reaksiyalar va diffuziya jarayonlari** bilan izohlanadi.

Halqa ko'rinishidagi strukturalarning paydo bo'lishi ehtimol yuqori haroratda Zr va Si atomlarining o'zaro interdiffuziyasi, shuningdek, ularning kimyoviy o'zaro ta'siri bilan bog'liq. Harorat oshishi bilan Zr va Si atomlari kristall panjara bo'ylab o'zaro almashinuvi sodir bo'ladi, natijada **ZrSi**, **ZrSi₂** kabi yangi fazaviy birikmalar hosil bo'ladi. Bunday intermetallik fazalarning shakllanishi yuzada makroskopik mexanik kuchlanish (termik stress)larni yuzaga keltiradi.



1-rasm. $ZrSi_2$ hosil bo'lish jarayonining SEM tasviri.

Umuman olganda, sirt yuzasida kuzatilgan halqasimon morfologik strukturalar Zr/Si interfeysida kechuvchi fazaviy o'zgarishlar, intermetallik birikmalar hosil bo'lishi va yuqori haroratda termik stresslarning to'planishi bilan bog'liq murakkab strukturaviy jarayon sifatida talqin etilishi mumkin. Mazkur jarayon Zr/Si asosidagi geterostrukturalarning uzoq muddatli yuqori haroratli ishlash barqarorligini belgilovchi asosiy omillardan biridir va ularning amaliy qo'llanilishidan avval haroratga chidamlilik bo'yicha chuqur tadqiqotlar o'tkazishni taqozo etadi.

Bu kuzatishlar Zr/Si(111) tizimida yuqori haroratlarda sodir bo'ladigan o'zaro ta'sirlarning fizik-kimyoviy mexanizmlarini chuqurroq tushunish imkonini beradi. Shuningdek, mikro- va nanoelektronika qurilmalarini yuqori harorat sharoitlarida ishlab chiqishda ushbu material tizimining termal barqarorlik chegaralarini aniqlash uchun muhim ilmiy va texnologik ahamiyatga ega [9].

Adabiyotlar

- [1] Wi S.J., Kim C.S., Kim H., Choi J., Seo K.W., Ahn J. Investigation of ZrSi₂ for Application to EUV Pellicle. // In Proceedings of the International Conference on Extreme Ultraviolet Lithography, Monterey, CA, USA, 11 November 2022.
- [2] S.Y. Zuev, A.Y. Lopatin, V.I. Luchin, N.N. Salashchenko, D.A. Tatarskiy, N.
- [3] N. Tsybin, N.I. Chkhalo, Optical, mechanical, and thermal properties of freestanding MoSi₂N_x and ZrSi₂N_y nanocomposite films, Technol. Phys. 64 (2019) 1590–1595.
- [4] S. Shu, F. Guo, Y. Zhan, Ab initio insight into the structure and properties of Zr–Si system, Phys. Status Solidi B 256 (2019) 1900018.
- [5] R. Rosenkranz, G. Frommeyer, Microstructures and properties of the refractory compounds TiSi₂ and ZrSi₂, Int. J. Mater. Res. 83 (1992) 685–689.
- [6] A.N. Astapov, I.P. Lifanov, M.V. Prokofiev, High-temperature interaction in the ZrSi₂–ZrSiO₄ system and its mechanism, Russ. Met. 2019 (2019) 640–646.
- [7] H. Yeom, B. Maier, R. Mariani, D. Bai, S. Fronek, P. Xu, K. Sridharan, Magnetron sputter deposition of zirconium-silicide coating for mitigating high temperature oxidation of zirconium-alloy. // Surf. Coat. Technol. 316 (2017) 30–38.
- [8] B.D. Igamov, I.R. Bekpulatov, G.T. Imanova, A.I. Kamardin, D.A. Normurodov, Investigation of optical and electrophysical properties of Mn₄Si₇ coatings of different thickness (No), Phys. Chem. Solid State 25 (2024) 421–427, <https://doi.org/10.15330/pcss.25.2.421-427>
- [9] Kumar, A., Kumar, M., ZnS microspheres-based photoconductor for UV lightsensing applications. Chemical Physics Letters, 763, 138162. <https://doi.org/10.1016/j.cplett.2020.138162> .
- [10] B.D. Igamov, I.R. Bekpulatov, J.T. Abdurahimov, A.M. Normamatov, F.Sh Kodirova, A.I. Kamardin, G.T. Imanova. doi.org/10.1016/j.nxmte.2025.101331 .