

ION PLAZMA USULIDA SHAKKLANTIRILGAN Mn_4Si_7 NANOFAZASINING KINETIK PARAMETRLARI

I.R. Bekpulatov, F.B. Norboyeva

Qarshi Davlat Universiteti

Anotatsiya. Ushbu tadqiqot ishida ion-plazmali magnetron changlatish texnologiyasi yordamida yuqori marganes silitsidi (Mn_4Si_7) asosidagi nanostrukturali yupqa qatlamlarni olish jarayonlari ko'rib chiqilgan. Ishning asosiy maqsadi - sintez qilishning texnologik rejimlari va hosil bo'lgan nanoplyonkalarining kinetik koeffitsientlari orasidagi bog'liqlikni aniqlashdan iborat. Tadqiqot davomida nanostruktura o'lchamining kamayishi zaryad tashuvchilarning sochilish mexanizmiga va Zebek koeffitsientining ortishiga olib kelishi isbotlangan. Olingan natijalar Mn_4Si_7 nanoplyonkalarining termoelektrik quvvat faktori hajmiy namunalarga nisbatan yuqori ekanligini ko'rsatdi. Ushbu ish mikroelektronika uchun yuqori samarali va ekologik xavfsiz termoelektrik datchiklar yaratishda muhim ilmiy asos bo'lib xizmat qiladi.

Kalit so'zlar: Mn_4Si_7 , magnetron changlatish, nanoplyonka, kinetik parametrlar, Zebek koeffitsienti, termoelektrik samaradorlik, SEM.

Kirish. Bugungi kunda mikrotizimlar texnikasi uchun nanoo'lchamdagi energiya manbalarini yaratish muhim vazifadir. Oliy marganes silitsidi (Mn_4Si_7) o'zining yuqori termoelektrik samaradorligi va tashqi muhitga nisbatan barqarorligi bilan ajralib turadi [1]. Ushbu materialni magnetron qurilmasida ion plazma usulida nanoplyonka ko'rinishida shakllantirish, uning issiqlik o'tkazuvchanligini pasaytirish va natijada termoelektrik sifat koeffitsientini (ZT) oshirish imkonini beradi [2].

Mn_4Si_7 birikmasi 400-800K harorat oralig'ida yuqori samaradorlik ko'rsatadi, bu esa uni o'rta haroratli termogeneratorlar uchun ideal nomzodga aylantiradi. Oliy marganes silitsidining muhim afzalliklaridan biri bu boshlang'ich komponentalarning ekologik tozaligi va ishlab chiqarishning arzonligidir [1]. Boshqa termoelektrik materiallardan (masalan, vismut telluridi Bi_2Te_3) farqli o'laroq, Mn_4Si_7 tarkibida zaharli elementlar mavjud emas, u tabiatda keng tarqalgan, arzon va yuqori haroratlarda oksidlanishga o'ta chidamli [2]. Ushbu materialning kristall strukturasi murakkab tetragonal panjaradan iborat bo'lib, bu uning anizotropik kinetik xossalarini belgilaydi.

Plyonkalarni hosil qilish uchun ion plazma usulida ishlaydigan magnetron changlatish qurilmasidan foydalanildi. Bu usulda vakuum kamerasiga argon (Ar) gazi yuboriladi va kuchli magnit maydoni yordamida plazma hosil qilinadi. Argon ionlari marganes-silitsid nishoniga urilib, undagi

atomlarni yulib chiqaradi. Ushbu atomlar taglik (masalan, silitsid yoki shisha) yuzasiga kelib o'tiradi va nanostrukturali qatlam hosil qiladi [3].

Ishchi gaz bosimi 0.5Pa qilib belgilandi. Taglik harorati (T_s) plyonkaning kristallanish darajasini boshqarishda asosiy omil bo'lib xizmat qildi [4].

Olingan Mn_4Si_7 nanoplyonkalarining samaradorligi ularning kinetik parametrlari - Zeebek koeffitsienti (S), elektr o'tkazuvchanlik (σ) va issiqlik o'tkazuvchanlik (κ) orqali aniqlanadi.

Termoelektrik samaradorlik quyidagi formula orqali ifodalanadi [5]:

$$ZT = \frac{S^2 \sigma}{\kappa} T \quad (1)$$

Bu yerda T - mutloq harorat. Nanostrukturalarda κ - (issiqlik o'tkazuvchanlik) kamayishi hisobiga ZT ko'rsatkichi ortadi.

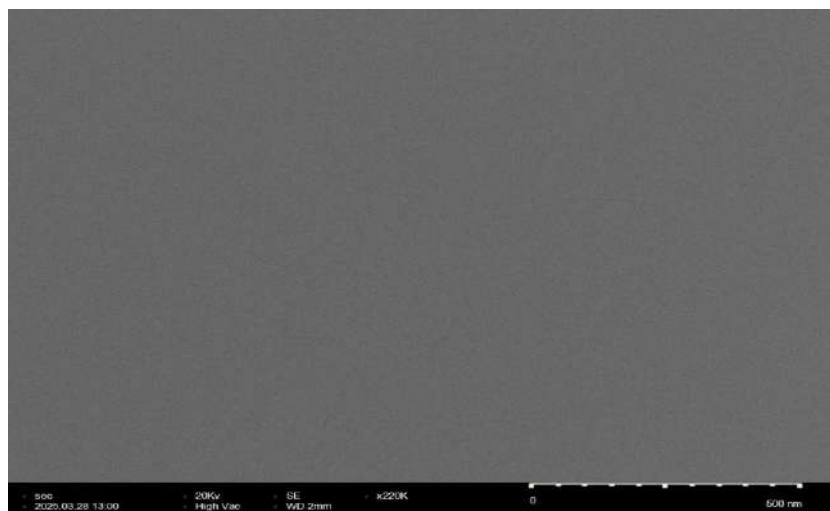
Shuningdek, materialning quvvat faktori (P) quyidagicha hisoblanadi [6]:

$$P = S^2 \sigma \quad (2)$$

Natijalar va muhokama

Tajribalarimizda nanostruktura o'lchami 100-300 nm bo'lganda, Zeebek koeffitsientining ko'tarilishi kuzatildi. Bu "energiya filtratsiyasi" effekti, ya'ni past yuqori energiyali elektronlarni o'tkazish orqali termoelektrik quvvatni oshirish usuli bilan bog'liq [7]. Ushbu o'lchamlar oralig'idan past bo'lgan plyonkalarni hosil qilish birikmaning qisqa vaqt davomida strukturasi buzilishiga olib keladi. Mn_4Si_7 nanoplyonkasi 10-15min davomida DC rejimda hosil qilindi.

Magnetron qurilmasida olingan plyonkalar bir jinsli tuzilishga ega ekanligi SEM tahlillarida tasdiqlandi (1-rasm).



1-rasm. Mn_4Si_7 nanoplyonkasining SEM tasviri

Harorat 500-600K oralig'ida bo'lganda, Mn_4Si_7 nanoplyonkalarining elektr o'tkazuvchanligi barqarorlashadi va maksimal quvvat koeffitsientiga erishiladi. Bu esa ushbu materialdan mikro-termogeneratorlarda foydalanish mumkinligini ko'rsatadi [8].

Tadqiqot natijasida magnetron changlatish usuli orqali yuqori sifatli Mn_4Si_7 nanoplyonkalarini olish texnologiyasi ishlab chiqildi. Olingan natijalar shuni ko'rsatadiki, ion-plazmali magnetron qurilmasida material harorati va changlatish vaqtini nazorat qilish orqali yuqori darajadagi bir jinsli Mn_4Si_7 fazalarini sintez qilish hamda ularning kinetik parametrlarini mikroelektronika datchiklari talablariga mos ravishda boshqarish mumkinligi isbotlandi. Bu esa nanostruktura o'lchamini boshqarish orqali materialning kinetik parametrlarini optimallashtirish va termoelektrik samaradorlikni taxminan 1.5 baravargacha oshirish imkoniyati isbotlandi.

Foydalanilgan adabiyotlar va ularning qo'llanilishi:

- [1] Bekpulatov I., Norboyeva F. Ion-plazma usuli yordamida $Mn_{\{4\}Si_{\{7\}}$ nanoplyonkasini hosil qilish va uning termoelektrik va elektrofizik xossalarini o'rganish // QarDU xabarleri. Fizika-matematika seriyasi. – Qarshi, 2025. – №2(2). – 76-bet
- [2] Rowe, D. M. Thermoelectrics Handbook. CRC Press, 2005.-pp.241-255.
- [3] Dresselhaus, M. S. "Nanomaterials for thermoelectrics," Nature, 2013. P-183-210. 10-12.
- [4] Wasa, K. Handbook of Sputter Deposition Technology. 2012.
- [5] Bekpulatov I. R., Loboda V. V., Normuradov M. T., Donaev B. D., Turapov I. Kh. Formation of Mn_4Si_7 films by magnetron sputtering and a wide range of their thermoelectric properties. St. Petersburg State Polytechnical University Journal. Physics and Mathematics, 16 (2) (2023) 78–88. DOI: 10.18721/JPM.16207
- [6] Snyder, G. J. "Complex thermoelectric materials," Nature Materials, 2008. 7.Mahan, G. D. "Thermoelectric Power," Solid State Physics, 1997. -pp.105-114.
- [7] Pichanusakorn, P. "Nanostructured thermoelectrics," Materials Science, 2010. pp-71-75.
- [8] Vining, C. B. "Silicides as thermoelectric materials," ICT Proceedings, 1990. -pp.249-258.