GALLIY ERITMA-SUYUQLANMASIDAN SUYUQ FAZA EPITAKSIYASI USULIDA O‘STIRILGAN $Si_{1-x}Ge_x/Si$ GETEROSTRUKTURALARINING SPEKTRAL FOTOSEZGIRLIGI VA ELEKTROFIZIK XOSSALARI

Razzoqov Alijon, Bozorboyev Murodjon

Abu Rayhon Beruniy nomidagi Urganch davlat universiteti, Urganch, O‘zbekiston

E-mail: murodjonbozorboyev217@gmail.com

Annotatsiya

Ushbu ishda galliy (Ga) erituvchisidan suyuq faza epitaksiyasi (LPE) usulida n-Si(111) tagliklarida o‘stirilgan $Si_{1-x}Ge_x$ (x = 0,05–0,25) qattiq eritmali qatlamlarning elektrofizik va fotoelektrik xossalari tadqiq qilingan. Xoll harakatchanligining temperatura bog‘liqligi, fotosezgirlik spektrlari va volt-amper xarakteristikalari (VAX) o‘rganilgan. Germaniy ulushi 0,05 dan 0,25 gacha ortishi bilan fotosezgirlikning uzun to‘lqinli chegarasi 1,13 mkm dan 1,22 mkm gacha siljishi aniqlangan.

Kalit so‘zlar: $Si_{1-x}Ge_x$ qattiq eritma, suyuq faza epitaksiyasi, galliy erituvchi, geterostruktura, spektral fotosezgirlik, Xoll effekti.

Kirish va tajriba metodikasi

Infraqizil (IQ) diapazonda ishlovchi fotodetektorlarni kremniy texnologiyasi bilan mos keluvchi materiallar asosida yaratish zamonaviy yarimo‘tkazgichli optoelektronikaning dolzarb vazifalaridan biridir [1]. Bu jihatdan $Si_{1-x}Ge_x$ qattiq eritmalari alohida qiziqish uyg‘otadi: tarkib (x) o‘zgarishi bilan ularning taqiqlangan zona kengligi 1,12 eV (Si) dan 0,66 eV (Ge) gacha o‘zgaradi, bu fotosezgirlik sohasini ~1,1 mkm dan uzun to‘lqinlar tomon kengaytiradi [2–5]. Shu bilan birga, Si va Ge panjara doimiylari orasidagi ~4,2 % farq [6] qatlamlarda mexanik kuchlanishlar va nomuvofiqlik

dislokatsiyalarining hosil bo‘lishiga olib keladi. Shu sababli muvozanatga yaqin sharoitda kristallanishni ta’minlovchi metall erituvchidan suyuq faza epitaksiyasi alohida ahamiyat kasb etadi: In, Bi va Ga erituvchilaridan yuqori kristall sifatli $Si_{1-x}Ge_x$ qatlamlari olingan [7–10], Sn asosidagi eritma-suyuqlanmadan olingan strukturalar bo‘yicha esa respublikamizda ham tizimli tadqiqotlar olib borilgan [11–13]. Ishning maqsadi Ga erituvchisidan o‘stirilgan $Si_{1-x}Ge_x/Si$ geterostrukturalarining elektrofizik va spektral fotoelektrik xossalarini tarkibga bog‘liq holda o‘rganishdan iborat.

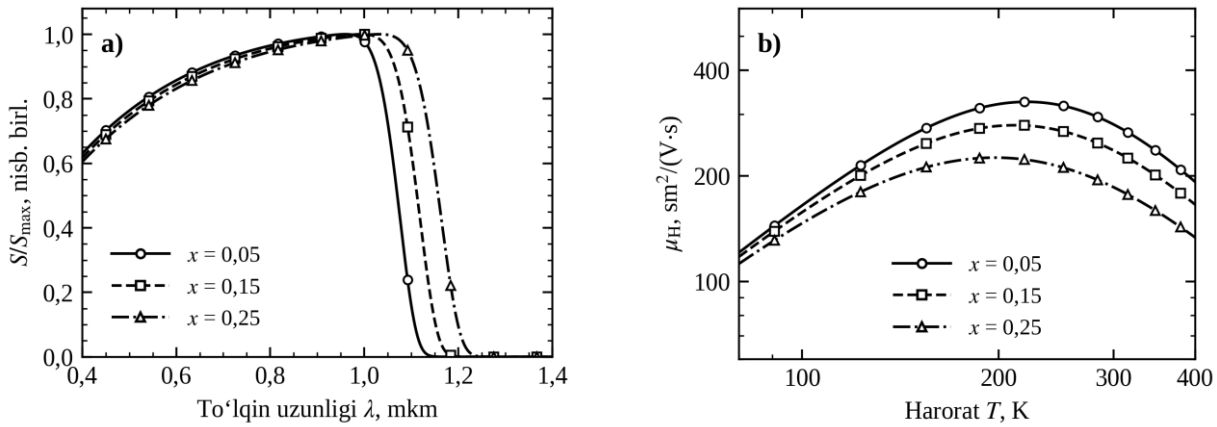
Epitaksial qatlamlar n-Si(111) tagliklarida ($\rho \approx 10$ Om·sm) Si–Ge–Ga eritma-suyuqlanmasidan siljuvchi grafit kassetada vodorod muhitida o‘stirildi. To‘yinish harorati 580–650 °C, sovitish tezligi 0–0,3 °C/min (tarkib gradientini minimallashtiruvchi rejim [10]). Qatlamlar qalinligi 10–15 mkm, tarkibi x = 0,05; 0,15 va 0,25 ni tashkil etdi (EDX ma’lumotlari). Zaryad tashuvchilar konsentratsiyasi va Xoll harakatchanligi Van der Pau usulida 80–400 K oraliqda o‘lchandi. Fotosezgirlik spektrlari prizmali monoxromator yordamida 0,4–1,4 mkm diapazonda, VAX esa qorong‘ilikda va yoritilgan holatda qayd etildi.

Natijalar va muhokama

Fotosezgirlik spektrlari (1-rasm, a) keng maksimumga ega bo‘lib, uning holati x ortishi bilan 0,96 mkm dan 1,03 mkm gacha siljiydi. Qisqa to‘lqinli sohadagi pasayish sirtoldi rekombinatsiya bilan bog‘liq. Germaniy ulushi ortishi bilan yutilish chetining ekstrapolyatsiyasi bo‘yicha aniqlangan uzun to‘lqinli chegara λ_{ch} 1,13 mkm (x = 0,05) dan 1,22 mkm (x = 0,25) gacha siljiydi. Bunga mos taqiqlangan zona kengligi ($E_g \approx 1{,}24/\lambda$) 1,10 eV dan 1,01 eV gacha kamayadi, bu $Si_{1-x}Ge_x$ qotishmalari uchun ma’lum $E_g(x)$ bog‘liqligi [4, 5] bilan mos keladi.

Xoll effekti o‘lchovlari barcha namunalarda p-tip o‘tkazuvchanlikni ko‘rsatdi, bu Ga ning Si va Ge da akseptor kirishma sifatida qatlamga kirishi

bilan tushuntiriladi [9]. Xona haroratida kovaklar konsentratsiyasi ~$2 \cdot 10^{17}$ sm^{-3} ni tashkil etdi. Xoll harakatchanligi (1-rasm, b) T ≈ 200–220 K da maksimumga erishadi: past haroratlarda ionlashgan kirishmalarda, yuqori haroratlarda esa fonon va qotishma sochilishi ustunlik qiladi. 250–400 K oraliqda $\mu_H \sim T^{-n}$ bog‘liqlikda n ≈ 1,0–1,1 bo‘lib, sof kremniydagi qiymatdan (n ≈ 2,2) sezilarli kichik; bu qotishma sochilishining kuchsiz temperatura bog‘liqligi bilan izohlanadi [3, 14]. 300 K da μ_H x = 0,05; 0,15 va 0,25 uchun mos ravishda 280, 236 va 185 $sm^2/(V \cdot s)$ ga teng bo‘lib, legirlanmagan $Si_{1-x}Ge_x$ uchun keltirilgan $\mu_p = (450 - 865x)$ $sm^2/(V \cdot s)$ qiymatlaridan [14] kirishmalarda sochilish hisobiga pastroq.



1-rasm. Turli tarkibli $Si_{1-x}Ge_x/Si$ geterostrukturalarida fotosezgirlikning spektral taqsimoti (a) va $Si_{1-x}Ge_x$ qatlamlarida kovaklar Xoll harakatchanligining temperatura bog‘liqligi (b) (adabiyot ma’lumotlari [4, 5, 14] asosida modellashtirilgan).

p-$Si_{1-x}Ge_x$/n-Si geterostrukturalarining qorong‘ilikdagi VAX to‘g‘rilovchi xarakterga ega: ±1 V kuchlanishda to‘g‘rilash koeffitsienti ~10^3, ideallik koeffitsienti n ≈ 1,6–1,9 ni tashkil etadi, bu geterochegaradagi rekombinatsiya ta’sirini ko‘rsatadi. 100 mVt/sm^2 yoritilganlikda ochiq zanjir kuchlanishi 0,35–0,42 V, U = –1 V da fototokning qorong‘ilik tokiga nisbati esa ~10^2 ga yetadi.

Xulosa

Ga erituvchisidan LPE usulida n-Si(111) tagliklarida x = 0,05–0,25 tarkibli $Si_{1-x}Ge_x$ qatlamlari o‘stirildi. Qatlamlar p-tip o‘tkazuvchanlikka ega bo‘lib, xona haroratida kovaklar konsentratsiyasi ~$2\cdot10^{17}$ sm^{-3}, Xoll harakatchanligi 185–280 $sm^2/(V\cdot s)$ ni tashkil etadi. Germaniy ulushi ortishi bilan fotosezgirlikning uzun to‘lqinli chegarasi 1,13 mkm dan 1,22 mkm gacha siljiydi. Olingan natijalar $Si_{1-x}Ge_x/Si$ geterostrukturalarini kremniy texnologiyasi bilan mos keluvchi yaqin IQ diapazon fotodetektorlari uchun istiqbolli material sifatida ko‘rib chiqish imkonini beradi.

ADABIYOTLAR

1. Paul D. J. Si/SiGe heterostructures: from material and physics to devices and circuits // Semicond. Sci. Technol. – 2004. – Vol. 19. – P. R75–R108.

2. Madelung O. Semiconductors: Data Handbook. – 3rd ed. – Berlin: Springer, 2004.

3. Kasper E., Lyutovich K. (eds.) Properties of Silicon Germanium and SiGe:Carbon. – London: INSPEC, 2000.

4. Weber J., Alonso M. I. Near-band-gap photoluminescence of Si–Ge alloys // Phys. Rev. B. – 1989. – Vol. 40. – P. 5683–5693.

5. Braunstein R., Moore A. R., Herman F. Intrinsic optical absorption in germanium-silicon alloys // Phys. Rev. – 1958. – Vol. 109. – P. 695–710.

6. Dismukes J. P., Ekstrom L., Paff R. J. Lattice parameter and density in germanium-silicon alloys // J. Phys. Chem. – 1964. – Vol. 68. – P. 3021–3027.

7. Alonso M. I., Bauser E. Growth of $Si_{1-x}Ge_x$ on silicon by liquid-phase epitaxy // J. Appl. Phys. – 1987. – Vol. 62. – P. 4445–4449.

8. Hansson P. O., Werner J. H., Tapfer L., Tilly L. P., Bauser E. Liquid-phase epitaxy and characterization of $Si_{1-x}Ge_x$ layers on Si substrates // J. Appl. Phys. – 1990. – Vol. 68. – P. 2158–2163.

9. Borshchevsky A., Fleurial J.-P. Growth of heavily-doped SiGe from metallic solutions // J. Cryst. Growth. – 1993. – Vol. 128. – P. 331–337.

10. Li H.-W., Chang C.-W. Pressure-sensitive liquid phase epitaxy of highly-doped n-type SiGe crystals for thermoelectric applications // Sci. Rep. – 2019. – Vol. 9. – Art. 4362.

11. Saidov A. S., Koshchanov É. A., Razzakov A. S. et al. Growth of perfect-crystal $Si–Si_{1-x}Ge_x–(Ge_2)_{1-x}(InP)_x$ structures from the liquid phase // Tech. Phys. Lett. – 1999. – Vol. 25. – P. 986–987.

12. Sapaev B., Saidov A. S. Study of certain properties of $Si–Si_{1-x}Ge_x$ ($0 \le x \le 1$) structures grown from a restricted tin-based solution-melt by liquid-phase epitaxy // Semiconductors. – 2005. – Vol. 39. – P. 1141–1146.

13. Razzokov A. Sh., Saidov A. S., Girzhon V. V., Smolyakov O. V. Features of growing Si- and $Si_{1-x}Ge_x$-single-crystal films from solution-melt based on tin // J. Phys. Stud. – 2022. – Vol. 26, No. 4. – Art. 4601.

14. Schäffler F. Silicon-Germanium ($Si_{1-x}Ge_x$) // Properties of Advanced Semiconductor Materials / Ed. by M. E. Levinshtein, S. L. Rumyantsev, M. S. Shur. – New York: Wiley, 2001.