

ВЫРАЩИВАНИЕ СОЕДИНЕНИЯ Si-CdTe В ВАКУУМЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕХНОЛОГИИ ТЕРМИЧЕСКОГО ИСПАРЕНИЯ.

Сапаев И.Б.^{1,2}, Саъдуллаев С.О.^{1,3}, Курбанова М.Р.⁴

¹Национальный исследовательский университет «ТИИМСХ», ²Новый Узбекский университет, ³Институт фундаментальных и прикладных исследований при «ТИИМСХ», ⁴Школа №24 Боготского района

Тел: +998999642119, электронная почта: sadullayevs@gmail.com

Аннотация. В этой работе представлены некоторые методы выращивания соединения Si-CdTe. Подробно проанализирован метод ВТЭ и представлен рентгеноструктурный анализ соединения, полученного методом ВТЭ. Определены оптимальные давление и температура получения соединения кремний-кадмий-теллур.

Ключевые слова: гетероструктура, термическое испарение, скорость испарения, эпитаксиальный слой, пленка.

Si-CdTe BIRIKMASINI VAKUUMDA TERMIK BUG‘LANISH TEKNOLOGIYASI YORDAMIDA O‘STIRISH.

I.B.Sapayev^{1,2}, S.O.Sadullayev^{1,3}, M.R.Qurbanova⁴

**¹ “TIQXMMI” milliy tadqiqot universiteti, ²Yangi O‘zbekiston Universiteti,
³“TIQXMMI” MTU huzuridagi Fundamental va Amaliy tadqiqotlar instituti,
⁴Bog‘ot tumanidagi 24-sonli maktab**

tel: +998999642119, e-mail: sadullayevs@gmail.com

Annotatsiya. Ushbu ishda Si-CdTe birikmasini o‘stirish usullaridan ayrimlari keltirilgan. VTE usuli batafsil tahlil qilingan hamda VTE usulida olingan birikmaning rentgenostrukturaviy tahlili keltirilgan. Kremniy kadmiy tellur birikmasi olinishining optimal bosimi va temperaturasi aniqlangan.

Kalit so‘zlar: geterostruktura, termik bug‘lanish, bug‘lanish tezligi, epitaksiyal qatlam, yupqa qatlam

GROWTH OF THE Si-CdTe COMPOUND BY USING VACUUM THERMAL EVAPORATION TECHNOLOGY.

I.B.Sapayev^{1,2}, S.O.Sadullaev^{1,3}, M.R.Kurbanova⁴

**¹ “TIAME” National Research University, ²New Uzbekistan University,
³Fundamental and Applied Research Institute under TIAME, ⁴School №24 in
Bagat**

tel: +998999642119, e-mail: sadullayevs@gmail.com

Annotation. In this work, some of the methods of growing the Si-CdTe compound are presented. The VTE method is analyzed in detail and the X-ray structural analysis of the compound obtained by the VTE method is presented. Optimum pressure and temperature of production of silicon cadmium tellurium compound was determined.

Keywords: heterostructure, thermal evaporation, evaporation rate, epitaxial layer, film

Kirish

So‘nggi yillarda CdTe va Si o‘rtasidagi geterostrukturalarni yaratish bo‘yicha alohida tadqiqot ishlari qilindi, chunki bu materiallarga asoslangan geterostrukturalar quyosh energiyasini elektr energiyasiga aylantirish uchun yuqori effektivlikga ega qurilma bo‘lishi mumkin. Bunday geterostrukturalar kremniy quyosh elementlarining

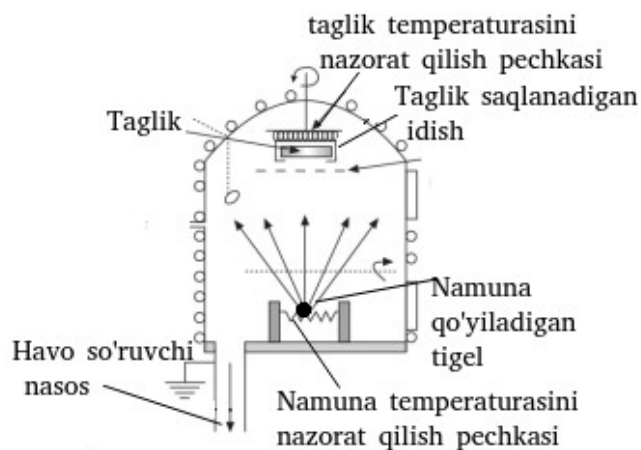
imkoniyatlarini va kadmiy tellurning afzalliklarini birlashtiradi. Shu bilan birga, yuqori sifatli CdTe-Si birikmalarni ishlab chiqarish qiyin, chunki CdTe va Si ning panjara parametrlari 10-15% ga farq qiladi, bu Si/CdTe yuzasida sirt nuqsonlarining yuqori zichligi shakllanishiga olib keladi. Shunga qaramay, yaqinda olib borilgan ishlar nSi-pCdTe geterostrukturasida bufer vazifasini bajaradigan oraliq o'tish qatlamini shakllantirish orqali sirt nuqsonlarining past zichligi bilan yuqori sifatli CdTe-Si birikmalarni ishlab chiqarish mumkinligini ko'rsatdi. Ushbu ishning maqsadi Si tagliklarida kompozitsion darajali CdTe yupqa qatlamlarni o'stirish, qatlamlarning tarkibini ularning qalinligi funksiyasi sifatida aniqlash. Ma'lumki, turli xil tagliklarda yupqa CdTe yupqa qatlamlari turli xil texnikalar bilan o'stirilishi mumkin [1, 2].

Bugungi kunda Si-CdTe geterostrukturasini o'stirishning bir necha xil usullari mavjud. Uzoq yillardan beri Si-CdTe birikmasining epitaksial o'sishi metall-organik faza epitaksiyasi (MOVPE), molekulyar nurli epitaksiya (MBE) va izotermik yaqin sublimatsiya (ICSS) kabi turli usullar bilan amalga oshirildi. Biroq, CdTe yupqa qatlamlarini o'stirish jarayonida hamda ushbu usullarni qo'llashda bir qator kamchiliklar mavjud, masalan, o'sish sur'atlari sekin kechadi, bir xil bo'lmagan yupqa qatlamlar va parametrlarni nazorat qilish oson emas, bu esa yuqori sifatli CdTe yupqa qatlam olishni qiyinlashtiradi. Bundan tashqari, bunday tizimlar ko'p mablag' talab qiladi. Ushbu ishda epitaksial qatlam o'stirishning turli xil texnologiyalari tushuntiriladi, shuningdek, Si-CdTe birikmasini olish uchun ularning afzalliklari va kamchiliklari haqida so'z yuritiladi. Tadqiqotda Si-CdTe birikmasining yuqori sifatli yupqa qatlamlarini o'stirish uchun vakuumda termik bug'lanish usuli qo'llanildi, chunki bu turli xil tez ta'sir qiluvchi fotosezuvchan birikmalarni olish imkonini beradi. Bundan tashqari, unda kompozitsion darajali yupqa qatlamlarni olish uchun cho'kish jarayonini samarali boshqarish imkoniyati mavjud. Masalan, Nuriyev va boshqalar. [3] o'sish jarayonida qo'shimcha Te bug' manbai bilan kompensatsiyaning vakuumli purkagich cho'kishi natijasida hosil bo'lgan CdTe yupqa qatlamlarining sirt morfologiyasiga ta'sirini o'rganib chiqdi. Ularning natijalari shuni ko'rsatadiki, asosiy va kompensatsion manba haroratini sozlash orqali ham n- va p-tipli CdTe yupqa qatlamlarini olish mumkin.

Metodlar va Materiallar

Vakuumdagi termik bug'lanish. So'nggi bir necha o'n yilliklarda amorf yupqa yupqa qatlamlar asosan bug'larni fizik cho'ktirish texnikasi bilan tayyorlangan. Vakuumdagi termik bug'lanish (VTE) (1-rasm) ulardan eng oddiyi. Bug' qattiq yoki suyuq (erituvchi) fazani (bug'latish) isitish orqali hosil bo'ladi. VTE arzon, nisbatan sodda va katta maydonida cho'ktirishga qodir. Hozirda VTE avvalgiga qaraganda kamroq qo'llaniladi, ammo VTE As-Se, Ge-Se kabi yaxshi shisha hosil qiluvchilar uchun qulay usul bo'lib qolmoqda. Chunki u arzon, nisbatan sodda va katta maydonda o'stirishga qodir. VTE tekis panelli rentgen detektorlari, nanoionli xotira qurilmalari (Ag qo'shilgan Ge-Se yordamida dasturlashtiriladigan metalizatsiya elementi), amorf selenni (a-Se) cho'ktirishning hamda yupqa yupqa qatlamli to'lqin o'tkazgichlari uchun qulay usul hisoblanadi.

Ushbu ishda Si-CdTe birikmasi VTE texnikasidan foydalangan holda o'stirilgan. Yuqorida aytib o'tilgan adabiyotlarga ko'ra, ushbu tadqiqotda taqdim etilganiga o'xshash ish yo'q.

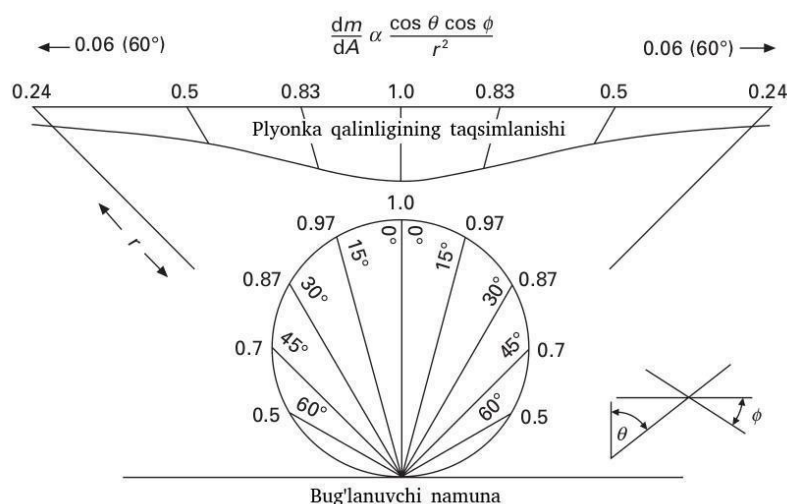


1-rasm. VTE qurilmasining sodda sxematik ko'rinishi.

To'g'ridan-to'g'ri bug'lanish manbasi (CdTe)ning ustida, cho'kish paytida taglik (Si)ni isitish hamda sovutish imkoniyatini beruvchi pechka o'rnatiladi. Isitish bosqichi CdTe da kondensatsiyalangan elementlarning harakatchanligini oshiradi va taglikni sovutish esa CdTe ning samarali cho'kishini ta'minlaydi.

2-rasmda bug'langan namunalarning manbasidan (pastda) soddalashtirilgan kosinus taqsimoti va taglikda (yuqorida) o'stirilgan yupqa qatlamning tegishli qalinligi

taqsimoti ko'rsatilgan, bunda dm/dA - A birlikga to'g'ri keluvchi m massa va r - taglikning manbadan masofasi (θ va ϕ burchaklari rasmda ko'rsatilgan). Tarqatish manba shakliga bog'liq (sim, spiral, silindr, SiO_2 tigel va boshqalar); Manba-taglik masofasi bug'langan molekulalarning o'rtacha erkin yugurish yo'li L dan ancha kam: masalan, diametri 0,3 nm bo'lgan tipik molekula uchun $L \approx 100$ m (10^{-4} Pa da).



2-rasm. Taglikka o'stirilgan namunaning qalinligining taqsimoti.

O'stirilgan yupqa qatlam qalinligi odatda o'nlab nanometrlardan yuzlab mikrometrgacha teng bo'lishi mumkin.

Klauzius-Klapeyron tenglamasini termodinamik muvozanatda ikki fazaning kimyoviy potentsiallari tengligidan, bug'lanish yuzasidagi muvozanat bug' bosimi P^* ning temperaturaga bog'liqligini quyidagicha yozishimiz mumkin:

$$dP^*/dT = \Delta H_v [T(v_g - v_c)] \quad (1)$$

ΔH_v bug'lanishning yashirin issiqligi, v_g va v_c lar mos ravishda gazsimon va kondensatsiyalangan muhitning molyar hajmlari. ΔH_v , v_g va v_c lar temperaturaning (T) funksiyalaridir.

Gazlarning kinetik nazariyasidan gaz molekulalarining sirtga urilish tezligi N_i quyidagicha ifodalanadi:

$$N_i = P^* (2\pi m k_B T)^{-1/2} \quad (2)$$

bu erda m - molekulyar massa, k_B - Boltsman doimiysi va P - gaz bosimi. (2) tenglama qoldiq gazlar va bug'lanish molekulalari uchun amal qiladi.

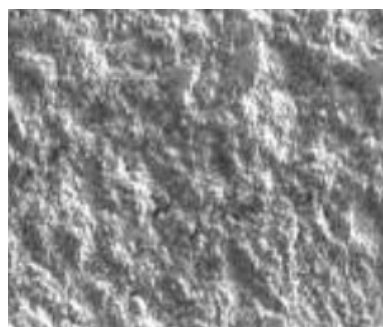
Sof molekulyar bug‘lanish tezligini (N_e) Gertz-Knudsen tenglamasi bilan ifodalashimiz mumkin:

$$N_e = \alpha_v(P^* - P)[2\pi mk_B T_e]^{-1/2} \quad (3)$$

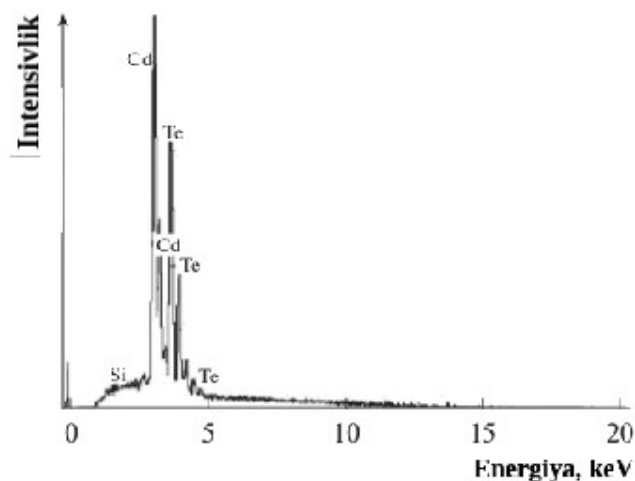
Bu erda T_e - bug‘lanish temperaturasi, P - bug‘lanish kamerasidagi muhit bosimi va α_v - bug‘lanish koeffitsienti. N_e ni gazlarning kinetik nazariyasiga asoslangan gaz molekulalarining urilish tezligi sifatida ham qarashimiz mumkin [4], gaz bosimi P ga mos keladigan qaytib keladigan molekulalar va bug‘lanish koeffitsienti uchun tuzatiladi. Biz maksimal bug‘lanish tezligi $P = 0$ bo‘lgan shartga mos kelishini ko‘rishimiz mumkin. Agar $P = P^*$ bo‘lsa, ya‘ni muvozanat sharoitida aniq bug‘lanish bo‘lmaydi. Bug‘lanish faqat $P \ll P^*$ bo‘lsa, ya‘ni muvozanat bo‘lmagan sharoitda kuzatiladi. N_e ning qiymati bizning ishda $N_{e(\text{CdTe})} \approx 1.87 \times 10^{17}$ molekula/(sm²·s) ga tengligi hisoblandi.

Natijalar va ularning muhokamasi

VTE dagi vakuum kamerasi bizning ishda $\approx 1,3 \times 10^{-4}$ Pa da CdTe sekin-asta bug‘landi (kvazi-yopiq vakuum tizimida). Biz taglik sifatida n-tipli Si(001) va Si(111) (qalinligi 350-400 mkm) lardan foydalandik. Kremniy taglikning qarshiligi $R \approx 5-10$ Ω·sm. Uzoq muddat saqlanishi natijasida kremniy yuzasidagi ifloslanishlar bir necha bosqich tozalashdan o‘tqazildi. Mikrostruktura tekshiruvi yupqa qatlamlarning o‘ssishi cho‘kma vaqtiga hamda taglik temperaturasi bog‘liqligini ko‘rsatdi. Bizning ishda CdTe turadigan tigelning temperaturasi 800-850 °C, taglikning temperaturasi esa $\approx 450 - 480$ °C. CdTe cho‘kma vaqtini nazorat qilish uchun to‘siqdan foydalandik, bu esa turli bosqichlarda o‘stirilgan yupqa qatlamlarning qalinligi bir xil bo‘lishini ta‘minladi. CdTe yupqa qatlamlarining yuzasi MII-4 optik mikroskopida tekshirildi. Si-CdTe birikmasining yuzasi teksturlangan sirtga o‘xshash va zich joylashgan kristallitlardan iborat ekanligi ko‘rsatilgan (3-rasm).



3-rasm. Birikma yuzasining mikrofotografiyasi.



4-rasm. Si-CdTe birikmadagi elementlarning taqsimlanishi.

Rentgen-spektroskopiya natijalari 4-rasmda keltirilgan. nSi taglik yuzasida Si miqdori CdTe dan oshadi. yupqa qatlam o'sishi bilan Si miqdori asta-sekin kamayadi, CdTe esa ortadi. Qatlamlar yuzasidan kadmiy va tellurning ikkilamchi elektron emissiyasi eng yuqori intensivlikka ega ekanligi 4-rasmda ko'rinadi; ya'ni yupqa qatlamlarning sirt qatlami asosan CdTe dan iborat. Ma'lumki, sirt holatlarining past zichligi bilan geterostruktura hosil qilish uchun nomuvofiqlik 7% ichida bo'lishi kerak [5].

Xulosa

Vakuumdagi termik bug'lanish usulining boshqa metodlardan arzon hamda oddiy ekanligi bilan ajralib turadi. Biz bu usulda Si tagliklarda yuqori sifatli kompozitsion CdTe qatlamlarini ishlab chiqarish mumkinligini ko'rsatdik. Si-CdTe birikmalarini quyosh elementlari yoki namlikni qayd qilish qurilmalari sifatida ishlatish mumkin. Birikma olinishining optimal rejimi bosim $\approx 1,3 \times 10^{-4}$ Pa da va temperatura 475 °C da ekani aniqlandi.

Minnatdorchilik. Si-CdTe birikmasini olishda yaqinda yordam bergan O'zFA "Fizika-Texnika" Instituti jamoasiga o'z minnatdorchiligimizni bildiramiz.

Foydalanilgan adabiyotlar

[1] Il'chuk, G.A., Kusnez, V.V., Rud', V.Yu., Rud', Yu.V., Shapoval, P.I., and Petrus', R.Yu., Photosensitivity of n-CdS/p-CdTe heterojunctions obtained by chemical surface deposition of CdS, Semiconductors, 2010, vol. 44, no. 3, pp. 318–320.

- [2] Kognovitskii, S.O., Nashchekin, A.V., Sokolov, R.V., Soshnikov, I.P., and Konnikov, S.G., Fullerene-containing C 60 –CdTe(CdSe) composite nanostructures, *Tech. Phys. Lett.*, 2003, vol. 29, no. 11, pp. 477–479.
- [3] Nuriyev, I.R., Mekhrabova, M.A., Nazarov, A.M., Sadygov, R.M., and Hasanov, N.G., On the growth, structure, and surface morphology of epitaxial CdTe films, *Semiconductors*, 2017, vol. 51, no. 1, pp. 34–37.
- [4] T.L. Chu, Shirley S. Chu, C. Ferekides, J. Britt, and C. Q. Wu, “Cadmium telluride films by metalorganic chemical vapor deposition”, *J. Appl. Phys.* 69 (11), 1 June 1991.
- [5] Milnes, A.G. and Feucht, D.L., *Heterojunctions and Metal–Semiconductor Junctions*, New York: Academic, 1972.