

GAFNIY O‘STIRILGAN KREMNIY NA‘MUNALARINI YUQORI TEMPERATURADA ELEKTROFIZIK XUSUSIYATINING O‘ZGARISHI

Y.Z. Mardiyev, F.O. Boboyev

O‘zbekiston Milliy universiteti huzuridagi

Yarimo‘tkazgichlar fizikasi va mikroelektronika

ilmiy tadqiqot inistituti

Yolqinmardiyev0@gmail.com

Annotatsiya: Elektronika qurilmalari uchun yarimo‘tkazgichli materiallarni ishlab chiqish va takomillashtirish zamonaviy fan va texnikaning asosiy yo‘nalishlari bo‘lib qolmoqda. Kremniy kristall panjarasiga boshqa elementlarning atomlarini kiritish uning xususiyatlarini sezilarli darajada o‘zgartirish va yuqori samarali elektron qurilmalarni yaratish uchun yangi imkoniyatlar ochish imkonini beradi. Bugungi kunda qiyin eruvchi elementlardan (QEE) foydalanish orqali radiatsiyaga chidamli materialni olish orqali turli xil yarimo‘tkazgichli qurilmalar tayorlash dolzard bo‘lib bormoqda. Bu ishda qiyin eruvchi materiallardan gafniyni tanlab oldik. Gafniy elementi Mendeliyev davriy jadvalida IV guruh elementi bo‘lib metal oylasiga mansub hisoblanadi. Gafniy elementini kremniyga legirlash bir muncha mushkul ishlardan biri hisoblanadi chunki gafniy atomlarini o‘chami kremniynikiga nisbatan ancha katta shu bilan yuqori temperaturada kislorod, uglerod, bor, kremniy elementlari bilan tez reaksiyaga kirishuvchan hisoblanadi. Bundan xulosa qilish mumkinkiy yuqoridagi elementlar bilan har xil turdagi bog‘larni hosil qiladi. Bu jarayonlarni tahlil qilishda eng asosiy usullardan biri to‘rt zont keng qo‘llaniladi. Bunda qalinlik bo‘yicha tahlil qilish ko‘p samarali fizik parametrlarni aniqlashga imkon beradi

Kalit so‘zlar: Monokristal kremniy, gafniy, solishtirma qarshilik, kislorod oksid, dielektrik qatlam, to‘rt zont.

Abstract The development and improvement of semiconductor materials for electronic structures remain the main directions of modern science and technology. The introduction of atoms of other elements into the silicon crystal lattice makes it possible to significantly change its properties and open up new opportunities for creating high-performance electronic devices. Today, it is becoming increasingly popular to prepare various semiconductor structures by obtaining radiation-resistant material using hard-melting elements (QEE). In this work, we selected hafnium from hard-to-melt materials. Hafnium is an element of group IV in Mendelyev's periodic table and belongs to the metal family. Alloying the hafnium element to silicon is one of the most difficult tasks, because the number of hafnium atoms is much larger than that of silicon, and at high temperatures, it reacts quickly with oxygen, carbon, boron, and silicon elements. It can be concluded from this that it creates different types of bonds with the above elements. In the analysis of these processes, one of the main methods is widely used. In this case, thickness analysis allows to determine many effective physical parameters

Key words: Monocrystalline silicon, hafnium, specific resistance, oxygen oxide, dielectric layer, four probes.

KIRISH.

Yarimo'tkazgichli elektronika uchun materiallarni ishlab chiqish va takomillashtirish zamonaviy fan va texnikaning asosiy yo'nalishlari bo'lib qolmoqda. Yarimo'tkazgichli qurilmalar uchun asosiy material bo'lgan kremniy o'ziga xos xususiyatlarga ega. Biroq, uni yanada takomillashtirish uchun turli xil qotishma usullarini qo'llash kerak. Kremniy kristall panjarasiga boshqa elementlarning atomlarini kiritish uning xususiyatlarini sezilarli darajada o'zgartirish va yuqori samarali elektron qurilmalarni yaratish uchun yangi imkoniyatlar ochish imkonini beradi [1-5].

Kremniyning strukturaviy va fizik xususiyatlariga sezilarli ta'sir ko'rsatishi mumkin bo'lgan volfram, titan va gafniy kabi qiyin eruvchi elementlariga (QEE) alohida e'tibor beriladi. Kremniy gafniy (Hf) bilan o'stirish - tadqiqotning ayniqsa qiziqarli yo'nalishi, chunki bu element noyob fizik-kimyoviy xususiyatlarga ega, shu jumladan past kimyoviy faollik va to'rt valentli holat, bu uni yangi yarim o'tkazgich materiallarini yaratish uchun istiqbolli elementga aylantiradi. Qiyin eruvchi elementi sifatida gafniy kremniyning kristall tuzilishiga ta'siri nuqtai nazaridan yaxshi o'rganilmagan. Biroq, dastlabki tadqiqotlar shuni ko'rsatadiki, kremniy gafniy bilan o'stirish uning mikrotuzulishida sezilarli o'zgarishlarga, jumladan nuqsonlar, nanokristallarning shakllanishi va materialning fazaviy tarkibi o'zgarishiga olib kelishi mumkin. Ushbu strukturaviy o'zgarishlar kremniyning o'tkazuvchanligi va nurlanish ta'siriga chidamliligi kabi fizik xususiyatlarini aniqlashda muhim rol o'ynaydi [2-8].

NAMUNALARNI TAYYORLASH VA TADQIQOT USULLARI.

Tajriba uchun boshlang'ich qarshiligi 2,5 dan 10 Om·sm gacha bo'lgan monokristalli kremniy namunalari tanlangan. Namunalar sirdan ifloslantiruvchi moddalar va oksid qatlamlarini olib tashlash uchun to'liq kimyoviy tozalashdan o'tkazildi. Bu kislotaperoksid yuvish yordamida amalga oshirildi, so'ngra gidroflorik kislotada (HF) ishlov berildi, bu oksidlarni to'liq olib tashlashni ta'minladi va keyingi tajriba uchun toza kremniy sirtini ta'minladi.

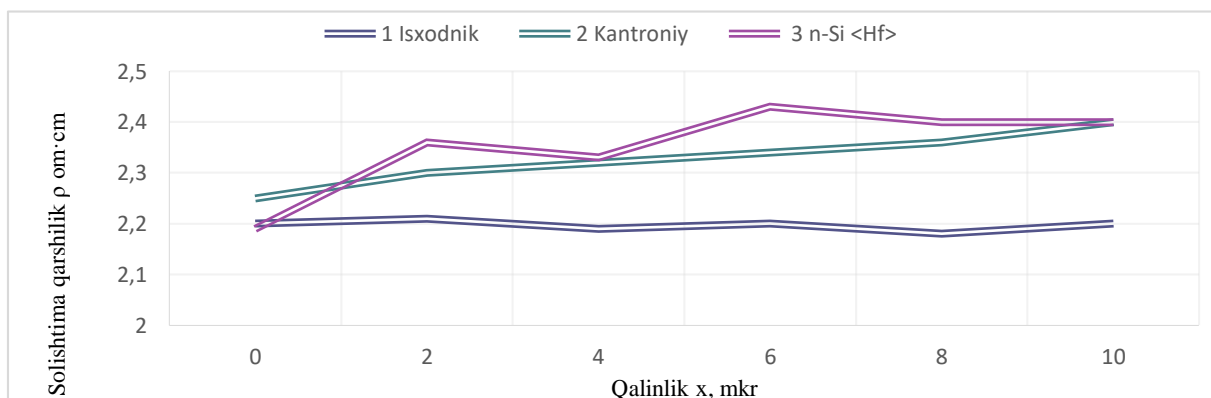
Tozalashdan keyin kremniy yuzasiga yuqori tozalikdagi gafniy (Hf) atomlari (99,999%) o'stirildi. O'stirilgan qatlam kremniy yuzasida gafniy atomlarining bir tekis taqsimlanishini ta'minlash maqsadida kvarts ampulada, tozalangan kremniy bilan toza gafniy elementini joylashtirildi va vakuum tizimidan foydalangan holda yuqori vakuum sharoitida 10^{-6} Torr hosil qilinib, termik diffuziya orqali o'stirish amalga oshirildi. Tayyorlangan n-Si va p-Si namunalari vakuumli yopiq kvarts ampulalariga joylashtirildi va 24 soat davomida 1473 K (1200 °C) da diffuziya qilindi. Keyinchalik katta nuqsonlar paydo bo'lishining oldini olish va kremniy kristall panjara ichida gafniyning bir xil taqsimlanishini ta'minlash uchun namunalar tez sovutildi. Tez sovutish, shuningdek, namunalarda nanokristallarning shakllanishiga va boshqa strukturaviy o'zgarishlarga ta'sir qilishi mumkin bo'lgan ichki bog'larni paydo bo'lishiga yordam berdi. Termal

diffuziyadan so'ng, o'stirilgan chuqur qatlamlarni tekshirish uchun qalinligi taxminan 2 mkm bo'lgan namunalarning sirt qatlami olib tashlandi. Bunga turli xil chuqurlikdagi strukturaviy o'zgarishlarni o'rganish imkonini beruvchi mexanik ishlov berish va kimyoviy qirqish yordamida erishildi.

NATIJAR VA MUHOKAMA.

Mazkur ishda ham kremniyning elektrofizik xususiyatlarini va sirt morfologiyasini tadqiq qilish, bu ishda foydalanayotgan na'munalarga gafniy diffuziya metodi bilan kiritish jarayonini na'muna xossalarini o'zgarishi o'rganildi.

Na'muna sifatida n- va p- tipdagi o'tkazuvchanlikka ega bo'lgan va turli solishtirma qarshilikka ega bo'lgan kremniy monokristallidan foydalanildi. Diffuziya usuli bilan amalga oshirilayotgan legirlash jarayonida o'ta sof bo'lgan gafniy kremniyning yuzasiga 22÷24 soat davomida 1200 °C temperatura intervalida o'tqazildi (changlatildi). Hf ning diffuziya qilgandan so'ng na'munalarni sovutish jarayoni turli xil tezliklarda o'tkazildi. Solishtirish uchun na'munasi sifatida n-Si va p-Si dan foydalanildi, ushbu na'muna ham gafniy bilan legirlangan kremniy kabi ayni bir xil sharoitda termik ishlovdan o'tkazilgan. Diffuzion legirlashdan so'ng kremniy (Si) ni to'rt zondli usul bilan na'munaning (ρ) solishtirma qarshiligi o'lchandi hamda (ρ) ning kremniyning ρ boshlang'ich xolatidagi ko'rsatkichlari bilan solishtirib ko'rildi. O'lchov natijalari shuni ko'rsatdiki, Hf bilan legirlangan n-Si ning barcha na'munalarida solishtirma qarshilik kattaligining yuqori miqdorda o'zgarishdan qolilishi, p-Si da tipning o'zgarishi ya'ni 2 mkr qatlamda n-Si hosil bo'lishi hamda solishtirma qarshilik o'zgarishi kuzatildi. Natijalar shuni ko'rsatdiki, gafniy o'stirilmagan kremniyda ya'ni n-Si va p-Si o'tkazuvchanlik tiplari qayta termik ishlovda juda kam miqdorda o'zgarishi ma'lum bo'ldi, bu holat qatlamlar bo'yicha o'lchanganda kam miqdorda o'zgarishni ko'rsatdi. Shu bilan bir qatorda n-tipdagi na'munalarda (ρ) solishtirma qarshiligi kattaligining kam miqdorda ortishi malum bo'ldi.

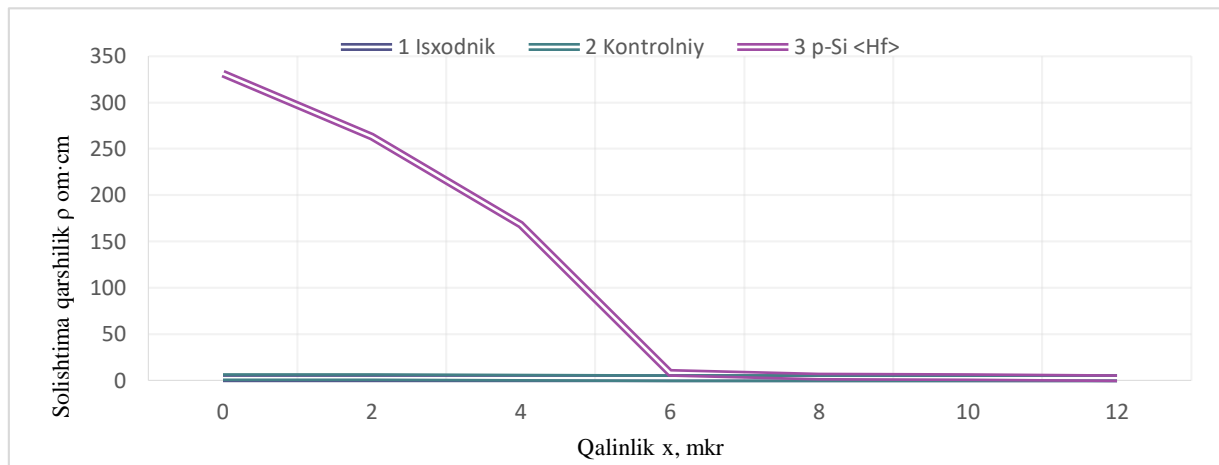


1-Rasm. 1-Sinov namuna, 2-Kantrolniy namuna, 3-n-Si<Hf> namuna

Natijalarni 1-rasimda solishtirilganiga etibor qaratsak n-Si kremniyga gafniy o'stirilganda solishtirma qarshilik ortishi yuqori miqdorda emas lekin temperatura orqali ishlov berilgan namunaga yaqin bo'lmoqda. Bundan xulosa qilish mumkinkiy kremniy sirtida hosil bo'ladiga kislorodning oksid qatlami gafniy elementi bilan faol bog'lanish

hosil qimoqda. Jarayonda shunga etibor berish mumkinkiy 10 mkr dan boshlab kontrol namuna bilan gafniy o‘stirilgan namunalar solishtirma qarshilik qiymatlari bir xil holatga kelib qolmoqda, bundan xulosa qilish mumkinki elementning kirish jarayoni temperaturaga, diffuziya koefitsientiga, atom radiusiga, namuna orintatsiyasiga, elementning tozaligiga bog‘liq bo‘ladi.

p- tipdagi na‘munalarda (ρ) solishtirma qarshilikning ortishi kuzatildi. Gafniy bilan diffuziya usulida legirlangan, bundan tashqari sinov termik ishlovi ta‘sirida bo‘lgan Si na‘munalari uchun chuqur satx bo‘yicha solishtirma qarshilikni taqsimlanishi o‘lchashlar amlaga oshirildi.



Rasm-2. 1- Sinov namuna, 2-Kontrol namuna, 3- p-Si<Hf> namuna

Yuqoridagi ko‘rsatilgan 2-grafikda Hf bilan legirlangan hamda sinov (Hf kirishmasi bo‘lmagan) Si ning solishtirma qarshilikni taqsimlanish grafigi keltirilgan. Rasmdan ko‘rinib turibdiki, Si na‘munalarning taqsimlanish grafigi ikkita soxadan iborat: boshida solishtirma qarshilik ρ ning 6 mkm chuqurlikkacha shiddat bilan o‘sishi kuzatiladi. Shundan so‘ng ρ stabil xolatga kelib sezilarli darajada solishtirma qarshilikning o‘zgarishi kuzatilmaydi.

Bu Hf mavjud bo‘lganda kremniyning hajmi bo‘ylab solishtirma qarshilik ρ ning teng miqdorda taqsimlanishini ko‘rsatib turibdi. Gafniy p- Si namunaga o‘stirilganda namuna tipini o‘zgarishini ko‘rish mumkin ya‘ni bu jarayonda faol kovaklar o‘rnini faol elektronlar egallaydi bu holat 2 mkr qalinlikgacha o‘zini namoyon qiladi. Solishtirma qarshilikni 6 mkr chuqurlikkacha yuqori miqdorda o‘zgarishi Hf elementi bilan kislorod faol bog‘lanib delektrik qatlamni hosil bo‘lishiga sifatida ko‘rish mumkin.[10]

Grafikga etibor qaratsak termik ishlov berilgan namuna bilan gafniy o‘stirilgan namuna 8 mkr qalinlikda yaqin natijaga kelayotganini ko‘rish mumkin, bularni hisobga olgan holda kislorodni oksid qatlani gafniy o‘stirish orqali kamaytirish mumkin.

XULOSA.

Bu ishda biz qiyin eruvchi elementning yario‘tkazgich namunalar uchun o‘stirish jarayonidagi sirt yuzasidan va 10 mkr qalinlikdagi o‘zgarishlarni nuqsonlarni oksid qatlamlarni o‘zgarishini ko‘rib chiqdik. Bu jarayonni tahlil qilishda asosan eng samarali usul to‘rt zont usulidan foydalandik.

Olingan natijalar shuni ko'rsatadiki kremniy monokristalida faol kislorod va sirtidagi oksid qatlamda joylashgan kislorodlar kremniy bilan bog'larini uzib gafniy atomlari bilan faol bog'lanishi hosil qilmoqda buni natijasida solishtirma qarshilikni ortishiga sabab bo'moqda. Bu jarayon n-Si nisbatan p-Si da ko'proq kuzatilganligiga etibor qaratishimiz mumkin, hattoki p-Si namunamiz Hf bilan legirlangan kremniyni sirtida 4 mkr qalinlikkacha dielektrik xususiyati ortganini ko'rish mumkin.

Olingan natijalardan xulosa qilsak qiyin eruvchi moddalar o'ta chidamli ya'ni radiatsion holarga undan tashqari har xil nurlanishlarga chidamli materiallarni olishga imkon beradi.

ADABIYOTLAR

1. L.T. Canham, "Silicon quantum wire array fabrication by electrochemical and chemical dissolution of wafers," *Appl. Phys. Lett.* **57**, 1046-1990. <https://doi.org/10.1063/1.103561>
2. F. Huisken, H. Hofmeister, B. Kohn, M.A. Laguna, and V. Paillard, "Laser production and deposition of light-emitting silicon nanoparticles," *Appl. Surf. Sci.* **154–155**, 305 (2000). [https://doi.org/10.1016/s0169-4332\(99\)00476-6](https://doi.org/10.1016/s0169-4332(99)00476-6)
3. V. Vinciguerra, G. Franzo, F. Priolo, F. Iacona, and C. Spinella, "Quantum confinement and recombination dynamics in silicon nanocrystals embedded in Si/SiO₂ superlattices," *J. Appl. Phys.* **87**, 8165 (2000). <https://doi.org/10.1063/1.373513>
4. F. Koch, and V. Petrova-Koch, "Light from Si-nanoparticle systems - a comprehensive view," *J. Non-Cryst. Solids*, **198–200**, 840 (1996). [https://doi.org/10.1016/0022-3093\(96\)00067-1](https://doi.org/10.1016/0022-3093(96)00067-1)
5. Zh. Ma, X. Liao, J. He, W. Cheng, G. Yue, Y. Wang, and G. Kong, "Annealing behaviors of photoluminescence from SiO_x:H," *J. Appl. Phys.* **83**, 7934 (1998). <https://doi.org/10.1063/1.367973>
6. M. Zaharias, H. Freistdt, F. Stolze, T.P. Drusedau, M. Rosenbauer, and M. Stutzmann, "Properties of sputtered a-SiO_x:H alloys with a visible luminescence," *J. Non-Cryst. Solids*, **164–166**, 1089 (1993). [https://doi.org/10.1016/0022-3093\(93\)91188-9](https://doi.org/10.1016/0022-3093(93)91188-9)
7. U. Kahler, and H. Hofmeister, "Silicon nanocrystallites in buried SiO_x layers via direct wafer bonding," *Appl. Phys. Lett.* **75**, 641 (1999). <https://doi.org/10.1063/1.124467>
8. S. Zhang, W. Zhang, and J. Yuan, "The preparation of photoluminescent Si nanocrystal-SiO_x films by reactive evaporation," *Thin Solid Films*, **326**, 92 (1998). [https://doi.org/10.1016/S0040-6090\(98\)00532-X](https://doi.org/10.1016/S0040-6090(98)00532-X)
9. H. Richter, Z.P. Wang, and L. Ley, "The one phonon Raman spectrum in microcrystalline silicon," *Solid State Commun.* **39**, 62 (1981). [https://doi.org/10.1016/0038-1098\(81\)90337-9](https://doi.org/10.1016/0038-1098(81)90337-9)
10. Spectroscopic and structural investigation of undoped and Er³⁺ doped hafnium silicate layers L. Khomenkova, Y.-T. An, D. Khomenkov, X. Portier, C. Labbé, F. Gourbilleau