

NIKEL ATOMLARINI KIRITISH ORQALI POLIKRISTALL KREMNIYNING ELEKTR-FIZIK XUSUSIYATLARINI YAXSHILASH

Q.A.Ismaylov – *fizika-matematika fanlari doktori, professor*

Sh.Z.Ollamberganov – *tayanch doktorant*

Berdaq nomidagi Qoraqalpoq davlat universiteti

Tayanch soʻzlar: polikristall, nikel, diffuziya, klaster, kremniy, kirishma atom.

Ключевые слова: поликристалл, никель, диффузия, кластер, кремний, примесный атом.

Key words: polycrystal, nickel, diffusion, cluster, silicon, impurity atom.

Kirish. Hozirgi kunda kremniy asosidagi materiallar mikroelektronika va fotovoltaika sohaslarining tayanch negizini tashkil etadi. Ushbu materiallar orasida polikristall kremniy (poly-Si) va monokristall kremniy (mono-Si) keng tadqiq qilinmoqda va foydalanilmoqda [1]. Monokristall kremniy yuqori sifatli struktura va kam nuqsonlilikka ega boʻlsa-da, polikristall kremniy baʼzi holatlarda ustunlikka ega. Polikristall kremniy iqtisodiy samaradorlik jihatidan muhim ahamiyat kasb etadi, chunki uning ishlab chiqarish jarayoni kamroq energiya talab etadi va arzonroq texnologiyalarni qoʻllash imkonini beradi. Shuningdek, poly-Si katta oʻlchamdagi ingotlar shaklida ishlab chiqarilishi tufayli hajm jihatidan koʻproq material olish imkonini beradi [2]. Bu xususiyat uni quyosh panellarini ishlab chiqarishida keng qoʻllanilishiga sabab boʻladi. Polikristall kremniyning boshqa bir muhim afzalligi – uning mexanik va issiqlik barqarorligi boʻlib, bu uni yuqori haroratli texnologik jarayonlarda qoʻllashga mos qiladi. Shuningdek, materialning tuzilmasida donalarga chegaralarning mavjudligi uning elektr xususiyatlarini boshqarish va modifikatsiyalash imkoniyatlarini kengaytiradi, bu esa ilmiy izlanishlar va amaliy tadqiqotlar uchun yangi yoʻnalishlar ochib beradi [3].

Mazkur maqolada polikristall kremniyning afzalliklari, uning monokristall kremniyga nisbatan imkoniyatlari va turli sohalardagi qoʻllanilishi xususida batafsil yoritib beriladi. Shu orqali, ushbu materialning yanada kengroq oʻrganilishi va rivojlantirilishi uchun ilmiy asos yaratiladi. Polikristall kremniy zamonaviy mikroelektronika va quyosh energetikasi sanoatining muhim materiali hisoblanadi. Ushbu materialning elektrfizik xususiyatlarini yaxshilash va uning samaradorligini oshirish maqsadida turli texnologik yondashuvlar qoʻllanilmoqda [4]. Ulardan biri – polikristall kremniy tarkibiga ogʻir metall atomlarini, xususan, nikelni kiritishdir. Nikel atomlarini kremniy strukturasiga kiritish jarayoni materialning elektrfizik parametrlariga sezilarli taʼsir koʻrsatadi. Nikel klasterlarining shakllanishi va ularning energetik holati elektron oʻtish darajalarini oʻzgartirishi mumkin [5], bu esa polikristall kremniyning qarshiligi, oʻtkazuvchanligi va relaksatsiya jarayonlariga taʼsir qiladi. Shu bilan birga, nikelning donalarga chegaralarda toʻplanishi materialning elektr oʻtkazuvchanligini yaxshilashga xizmat qiladi, bu esa fotovoltaikalar va yuqori samarali elektron moslamalar ishlab chiqarishda muhim ahamiyatga ega [6]. Nikelning yana bir foydali jihati – uning kremniy strukturasida defektlarni passivatsiyalash imkoniyatidir. Bu jarayon donalarga chegaralardagi rekombinatsiya jarayonlarini susaytiradi va materialning ishlash samaradorligini oshiradi. Shu bois, polikristall kremniyga nikel kiritish zamonaviy texnologik yechim sifatida koʻplab ilmiy izlanishlar markazida turibdi [7].

Texnologik qism. Polikristall kremniyni ishlov berish texnologik jarayonlari sanoat va ilmiy tadqiqotlarda muhim oʻrin tutadi. Taqqid qot uchun polikristall kremniy plastinka-

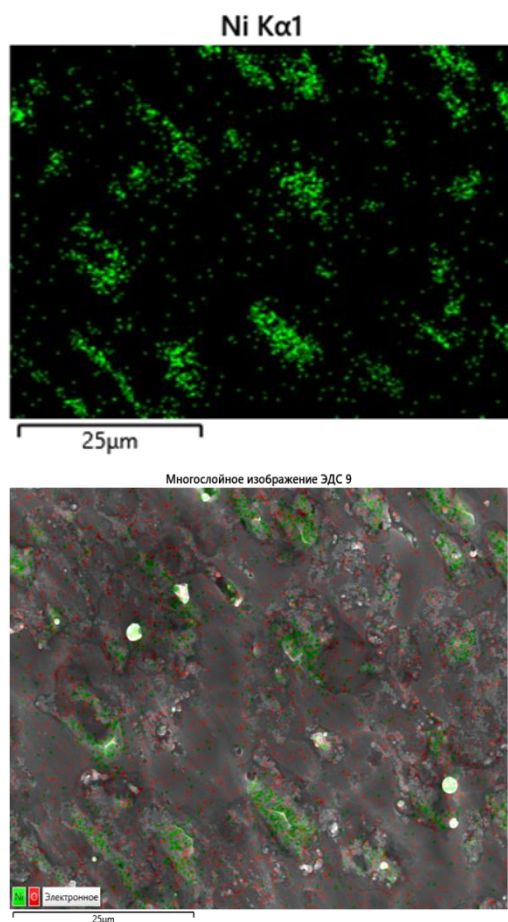
dan oʻlchami 5x10 mm namuna “STX- 402” olmos ipli kesish qurilmasida kesib olindi. Bu usul yordamida kesish aniqlik material isrofi kamligi bilan ajralib turadi ammo namunada chiziqlar va mikrodeffektlar paydo qilinadi. Bu deffektlarni ketkazish uchun polikristall kramniy namunalariga mexanik ishlov berishni talab qiladi.

Mexanik ishlov berish polikristall kremniy plastinkalari (wafers) yuzasining sifatini oshirish uchun ishlatiladi. Bu jarayon kremniy substratlarining yuzasini silliqlash, nuqsonlarni bartaraf etish va keyingi texnologik bosqichlar uchun tayyorlashga qaratilgan. Silliqlash jarayoni plastinkalar yuzasini dastlabki tekislash va qoʻpol nuqsonlarni yoʻqotishga qaratilgan. Silliqlashda silikon karbid (SiC) marakalrini va ketkaziligan qalinlikni aniq yozish kerak abrazivlar keng qoʻllaniladi. Bu material yuqori qattqlikka ega boʻlib, kremniy yuzasiga aniq va samarali ishlov beradi.

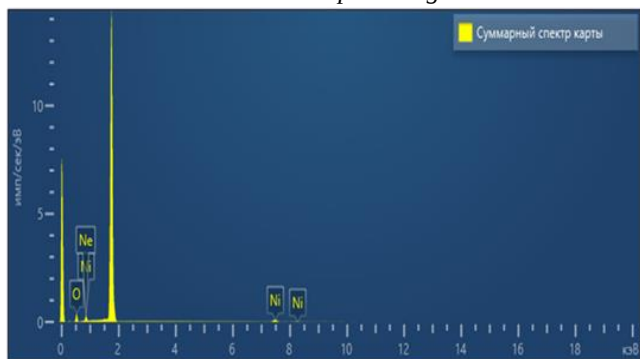
Polikristall kremniy sirtiga kimyoviy ishlov berish uning yuzasini tozalash, kerakli shaklga keltirish, va yuqori aniqlikdagi sifatini taʼminlash uchun muhim bosqich hisoblanadi. Ushbu jarayon material yuzasidan maʼlum miqdorda qatlamlarni olib tashlash va uni kerakli shaklga keltirish uchun qoʻllaniladi. Kimyoviy ishlov berish jarayoni quyidagi ketma ketlikda amalga oshiriladi. HF (gidroftorid kislotasi) da Kremniy oksid (SiO₂) qatlamini olib tashlashnanadi. HNO₃ (azot kislotasi) yordamida polikristall kremniy yuzasining geometrik xususiyatlarini yaxshilaydi. Kimyoviy ishlov berish jarayoni tugagandan keyin namunalar deionizatsiya qilingan suvda yuvilib quritiladi va nikel purkash jarayoniga tayyorlanadi.

Polikristall kremniy yuzasiga nikel qatlami yotqizish jarayoni diffuziyaning birinchi bosqichi boʻlib, yuqori sifatli qoplamani hosil qilishni talab qiladi. Vakuumli bugʻlanish usuli, nikelning kremniy yuzasiga yupqa qatlami sifatida yotqizilishida keng qoʻllaniladigan texnologiyalardan biridir. Bu usulda, nikel materialining bugʻ holatiga oʻtishi va undan keyin kremniy yuzasiga kondensatsiya qilinishi amalga oshadi. Bu jarayon YBP-3M qurilmasida amalga oshirilda nikel qatlam qalinigi 1mkm ga teng boʻladi. Nikel diffuziyasi 1000 °C temperaturada 30 minut davomida atmosfera muhitida amalga oshirildi. Polikristall kremniy yuzasida diffuziya jarayonidan keyin qolgan nikel qatlami yoki oksidlarni olib tashlash material sifatini taʼminlash uchun muhim hisoblanadi. Ushbu jarayon kimyoviy tozalash usullari yordamida amalga oshiriladi. Diffuziyadan keyin hosil boʻlgan oksid qatlamni olib tashlash uchun HF kisoltada yuzadan qolib ketgan nikel qoldiqlar HCl (xlorid kislotasi) yordamida tozalanadi. Bu jarayon kremniy yuzasini toza va oksidsiz holatga keltiradi. Diffuziya jarayonlaridan soʻng, yaratilgan namunalarni skanerlovchi elektron mikroskopiya (SEM) yordamida oʻrganish ilmiy tadqiqotlar va materiallarning sifatini baholash uchun zarur bosqich hisoblanadi. Bu usul orqali nikelning polikristall kremniyga qanday taʼsir qilgani va bu

jarayonlarning natijalari haqida aniq va chuqur ma'lumotlar olish mumkin. Diffuziya jarayoni natijasida yuzada bir qator o'zgarishlar yuz beradi, shu jumladan nikel atomlarining taqsimlanishi, kristall tuzilmasi va fazalar hosil bo'lishi. SEM yordamida yuzaning mikroskopik tuzilishini va tuzilmaviy o'zgarishlarni aniq tasvirlash mumkin. Bu jarayon nikelning kremniyga diffuziya qilish natijalarini ko'rish imkonini beradi. SEM orqali yuzadagi mikron va nanometr o'lchamdagi tuzilmalar, donalararo chegaralar va kristall tuzilmalari o'rganiladi. Bu mikroskopik tahlil yarimo'tkazgich materiallarining sifatini va ularda yuzaga kelgan kamchiliklarni aniqlashda yordam beradi. Nikel kirishma atomlari yuzaga teng taqsimlanishi yoki shovqinli struktura hosil bo'lishi mumkin. SEM bu taqsimlanishning bir tekisligi yoki heterojenligini aniqlashga yordam beradi, bu esa materialning elektr o'tkazuvchanligi va boshqa fizik xususiyatlarini ta'sir qilishi mumkin.



1-rasm diffuziyadan keying polikristall kremniy yuzasining skanerlovchi elektron mikroskopda olingan tasvirlari.

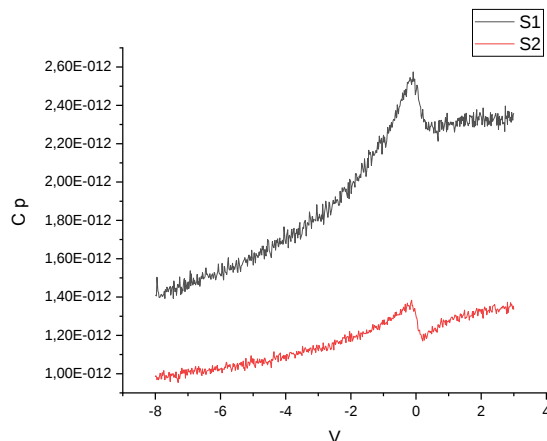


2-Rasm namunaning elementar tarkibi.

1-jadval

Суммарный спектр карты				
Элемент	Тип линии	Вес %	Сигма вес %	Атом. %
O	K-серия	42.52	1.73	64.83
Ne	K-серия	14.23	2.87	17.20
Ni	K-серия	43.25	1.81	17.97
Всего		100.00		100.00

SEM orqali, nikelning polikristall kremniy yuzasiga qanday joylashgani va nikel klasterlari qanday shakllanganligi to'g'risida aniq ma'lumotlar olinadi. Bu klasterlarning kattaligi va taqsimlanishining o'rganilishi nikelning diffuziya va termik ishlov berish jarayonlarida qanday ta'sir ko'rsatganini tushunishga yordam beradi. Nikelning polikristall kremniyga integratsiya jarayonida yuzaga kelgan mikrostruktura o'zgarishlari ham kuzatiladi, bu esa jarayonning samaradorligini baholashda yordam beradi. Nikel atomlari polikristall kremniyda diffuziya qilganda, ular to'plamlar yoki klasterlar hosil qilishlari mumkin. SEM orqali bu klasterlarning kattaligi, shakli va taqsimlanishini ko'rish mumkin. Klasterlarning o'lchamlari va taqsimlanishi nikelning kremniy yuzasiga qanday ta'sir qilgani va ularning elektr-fizik xususiyatlariga qanday ta'sir ko'rsatishini aniqlashda muhim rol o'ynaydi. Nikel kirishma atomlari polykristall kremniyning elektrofizik parametrlariga ta'sirini o'rganish uchun C-V metodida o'lchov amalga oshirildi. Buning uchun nikel kirishma atomlari bo'lgan va nikelisiz namunalar bir xil jarayonlardan o'tdi. C-V metodini amalga oshirish uchun polykristall kremniy namunalariga Au metal – yarimo'tkazgich kontakti xosil qilindi. Nikel kirishma atomlari bo'lmagan va 1000 °C da diffuziya qilingan **n-tip** polikristall kremniy namunalarining yuzasiga oltin qoplashni amalga oshirildi, bu Shottky diodi hosil qiladi. Shottky diodining elektr-xususiyatlarini tahlil qilishda C-V (Sig'im-Volt) o'lchash usuli muhim ahamiyatga ega. **C-V o'lchash** esa, Shottky diodining zaryad tashuvchilari va qo'shimcha potentsial bo'shliqlarini tahlil qilishda ishlatiladi. Shottky diodining ishlash samaradorligini va imkoniyatlarini baholashga yordam beradi. C-V o'lchash, materialning sifatini va unga ta'sir qilgan diffuziya va termik ishlov berish jarayonlarining samaradorligini to'liq baholashda muhim rol o'ynaydi.



1-Rasm. Polykristall kremniy namunalarida o'tkazilgan C-V o'lchashlar natijasi. (S1- nikel kirishma atomlari bo'lmagan namuna. S2 – nikel kirishma atomlari bilan ligerlangan namuna.)

S1 Namunaning sig'imi katta, lekin egri chiziqli shakli defektlar yoki interfeysdagi nuqsonlar haqida dalolat beradi. Sig'im yuqori bo'lishi mumkin, ammo defektlar va zaryad tuzoqlari mavjudligi bu materialni yaxshi sifatli deb hisoblashga to'sqinlik qiladi.

S2 Namunaning sig'imi kichik, lekin kuchlanish bo'yicha o'zgarishning kichikligi, materialda bir xil zaryad taqsimlanishi va kam defektlar mavjudligini ko'rsatadi. Bu material yaxshi sifatga ega deb baholanishi mumkin, chunki interfeys barqaror va zaryad tashuvchilar taqsimlanishi bir xil. Zaryad tuzoqlari interfeysda kapasitansning sezilarli o'zgarishiga olib keladi. Tuzoqlar soni quyidagicha hisoblanadi:

$$N_t = \frac{(C_{max} - C_{min})}{qA}$$

C_{max} : - Kuchlanishning nol qiymatida o'lchangan maksimal kapasitans.

C_{min} -Katta kuchlanishlarda o'lchangan minimal kapasitans.

q - Elektron zaryadi.

A-Shottki diodining maydoni.

N_t – Namunalar yuzasidagi tuzoqlar konsentratsiyasi.

2-jadval

Namuna	C_{max}	C_{min}	q	A	N_t
S1	2.6×10^{-12} F	1.4×10^{-12} F	1.6×10^{-19} C	0.8×10^{-6} m ²	1.1×10^{13} m ⁻²
S2	1.3×10^{-12} F	1×10^{-12} F	1.6×10^{-19} C	0.8×10^{-6} m ²	0.23×10^{13} m ⁻²

Xulosa.

1. Nikel kirishma atomlari asosan polikristall kremniy donalararo chegaralarda to'planadi, bu esa materialning elektr xususiyatlarini boshqarishda muhim rol o'ynaydi.
2. C-V o'lchov natijalari shuni ko'rsatadiki, nikel kiritilgan namunalarning sifati nikel kiritilmagan namunalar bilan solishtirganda sezilarli darajada yaxshiroq.
3. Nikel diffuziyasi natijasida polikristall kremniy yuzasidagi mikrodefektlar va nuqsonlar kamayadi, bu esa materialning samaradorligini oshiradi.
4. Nikel kiritish jarayoni polikristall kremniyning o'tkazuvchanligi va elektr-parametrlariga ijobiy ta'sir ko'rsatib, fotovoltaiik va elektron moslamalar uchun sifatli material olishga yordam beradi.

Adabiyotlar

1. Алферов Ж.И., Андреев В.М., Румянцев В.Д. Тенденции и перспективы развития солнечной фотоэнергетики. Физика и техника полупроводников. -Санкт-Петербург: Россия. 2004. Том 38, №8, -С. 937-948.
2. Болтакс Б.И. Диффузия в полупроводниках. -Москва: «ФИЗМАТГИЗ». 1961.-С. 264-288.
3. Bakhadyrkhanova M.K., Isamov S.B., Kenzhaev Z.T., Kovesnikov S.V. Studying the Effect of Doping with Nickel on Silicon-Based Solar Cells with a Deep p – n - Junction. Technical Physics Letters, 2019, vol. 45, №. 10, -P. 959–962.
4. Грибов Б.Г., Зиновьев К.В. Новые технологии получения поликристаллического кремния для солнечной энергетики. Издательство вузов, Электроника, -Т. 2, № 3, -С. 10-17.2008.
5. Fenning D.P., Zuschlag A.S., Bertoni M.I., Lai B., Hahn G., Buonassisi T. Improved iron gettering of contaminated multicrystalline silicon by high-temperature phosphorus diffusion, J. Appl. Phys. 113. 2013.
6. McHugo S.A., Thompson A.C., Mohammed A., Lamble G., Perichaud I., Martinuzzi S., Werner M., Rinio M., Koch W., Hoefs H. U. and Haessler C. 2001. Nanometer-scale metal precipitates in multicrystalline silicon solar cells, Journal of Applied Physics, 89 (8), 4282-4288.
7. Ismaylov K.A., Kenjayev Z.T. The factors influencing to the efficiency using of photoconversions. // Vestnik, KKOANR. Uz, 2017, № 3, -P.11-14.

REZYUME. Ushbu ishning maqsadi nikel atomlari polikremniyning xususiyatlariga ko'rsatadigan ta'sir mexanizmlarini aniqlash va tahlil qilishdan iborat. Nikel kirishma atomlarini polykristall kremniyga 1000, diffuziya qilinib nikel klasterlarni tarkibi skanerlovchi elektron mikroskoplarda o'rganildi. Polikristall kremniyga nikel kiritishning elektr-fizik parametrlariga ta'siri o'rganildi va nikel kirishma atomlari klasterlarning hajmi va tarkibi o'rganildi. Tadqiqotda C-V metodidan foydalanilib nikel kirishma atomlari mavjud bo'lmagan va nikel kirishma atomlari bilan ligirlangan namunalarning elektrofizik parametrlari o'lchandi va solishtirildi. Natijalar shuni ko'rsatdiki, nikel kiritish polikristall kremniy material sifatini yaxshilashi aniqlandi.

РЕЗЮМЕ. Цель данной работы – определить и проанализировать механизмы влияния атомов никеля на свойства поликремния. На поликристаллический кремний было нанесено 1000 атомов никеля и исследован состав кластеров никеля с помощью сканирующих электронных микроскопов. Изучено влияние добавления никеля к поликристаллическому кремнию на электрофизические параметры, изучен размер и состав кластеров атомов никеля. Электрофизические параметры образцов без атомов никеля и легированных с атомами никеля определены методом C-V. измерил и сравнил. Результаты показали, что введение никеля способствует улучшению качества поликристаллического кремниевое материала.

SUMMARY. The aim of this work is to determine and analyze the mechanisms of the influence of nickel atoms on the properties of polysilicon. 1000 nickel atoms were deposited on polycrystalline silicon and the composition of nickel clusters was studied using scanning electron microscopes. The effect of adding nickel to polycrystalline silicon on the electrophysical parameters was studied, the size and composition of nickel atom clusters were studied. The electrophysical parameters of samples without nickel atoms and doped with nickel atoms were determined by the C-V method. measured and compared. The results showed that the introduction of nickel helps to improve the quality of polycrystalline silicon material.