



## MAGNIOTERMİK QAYTARISH USULI ORQALI MAHALLIY KVARSLAR QUMLARIDAN TEXNIK KREMNIY OLISH TEXNOLOGIYASI

*t.f.f.d. (PhD) Jiyanova Sayyora Ibragimovna., Termiz davlat universiteti*  
*[jiyanovasayyora2021@gmail.com](mailto:jiyanovasayyora2021@gmail.com)*

*Xurramov Baxriddin Baxtiyor o'g'li, Termiz davlat universiteti,*  
*Fizika yo'nalishi 1-kurs magistranti*  
*[baxriddinxurramov0510@gmail.com](mailto:baxriddinxurramov0510@gmail.com)*

*Abdurasulova Aziza Shuhratjon qizi Termiz davlat universiteti,*  
*Fizika yo'nalishi 2-kurs magistranti*  
*[azizaabdurasulova88@gmail.com](mailto:azizaabdurasulova88@gmail.com)*

**Annotatsiya:** Ushbu tezisda mahalliy kvarts qumlaridan magniotermik qaytarish usuli orqali texnik kremniy olish jarayoni o'rganilgan. Tadqiqot davomida xomashyoning kimyoviy va mineralogik tarkibi tahlil qilindi hamda magniy yordamida qaytarish reaksiyasining optimal sharoitlari aniqlashtirildi. Olingan mahsulotning fazaviy tarkibi, morfologiyasi va kimyoviy tozaligi fizik-kimyoviy usullar yordamida baholandi. Natijalar mahalliy xomashyolardan energiya tejankor va iqtisodiy samarali texnologiyalar asosida texnik kremniy olish imkoniyati mavjudligini ko'rsatgan.

**Kalit so'zlar:** magniotermik qaytarish, kvarts qumi, texnik kremniy, SiO<sub>2</sub>, fizik-kimyoviy tahlil, XRD, SEM.

## TECHNOLOGY FOR OBTAINING TECHNICAL SILICON FROM LOCAL QUARTZ SANDS BY THE MAGNESIOTHERMIC REDUCTION METHOD



**Abstract:** This thesis studies the process of obtaining technical silicon from local quartz sands using the magnetothermal reduction method. During the study, the chemical and mineralogical composition of the raw material was analyzed and the optimal conditions for the reduction reaction using magnesium were determined. The phase composition, morphology and chemical purity of the obtained product were evaluated using physicochemical methods. The results showed that it is possible to obtain technical silicon from local raw materials using energy-saving and cost-effective technologies.

**Keywords:** magnetothermal reduction, quartz sand, technical silicon, SiO<sub>2</sub>, physicochemical analysis, XRD, SEM.

## ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО КРЕМНИЯ ИЗ МЕСТНЫХ КВАРЦЕВЫХ ПЕСКОВ МЕТОДОМ МАГНИОТЕРМИЧЕСКОГО ВОССТАНОВЛЕНИЯ

**Аннотация:** В данной диссертации исследуется процесс получения технического кремния из местных кварцевых песков методом магнитотермического восстановления. В ходе исследования был проведен анализ химического и минералогического состава сырья и определены оптимальные условия реакции восстановления с использованием магния. Фазовый состав, морфология и химическая чистота полученного продукта были оценены с помощью физико-химических методов. Результаты показали, что получение технического кремния из местного сырья возможно с использованием энергосберегающих и экономически эффективных технологий.

**Ключевые слова:** магнитотермическое восстановление, кварцевый песок, технический кремний, SiO<sub>2</sub>, физико-химический анализ, XRD, SEM.



Bugungi kunda texnik kremniy metallurgiya, kimyo sanoati, mikroelektronika va quyosh energetikasi kabi sohalarida keng qo'llaniladigan muhim sanoat materiali hisoblanadi. Hozirgi vaqtda kremniy ishlab chiqarish jarayonlari asosan karbotermik qaytarish usulida amalga oshiriladi, biroq mazkur jarayon yuqori harorat rejimini va katta miqdordagi energiya sarfini talab qiladi.

Magniotermik qaytarish usuli kremniy dioksidni magniy yordamida pastroq haroratda qaytarishga asoslangan bo'lib, bu usul energiya samaradorligi va jarayonning tez kechishi bilan ajralib turadi. Respublikamiz hududida keng tarqalgan qum, ayniqsa kvarts qumi tarkibida kremniy dioksidi (SiO<sub>2</sub>) yuqori bo'lib, texnik kremniy olish uchun istiqbolli material xomashyo manbai hisoblanadi [1].

Mazkur tadqiqot ishning asosiy maqsadi-mahalliy kvarts qumlaridan magniotermik qaytarish usuli orqali texnik kremniy olish hamda hosil bo'lgan mahsulotning fizik-kimyoviy xususiyatlarini o'rganishdan iborat.

Tadqiqot obyekti sifatida mahalliy kvarts qumi namunalari foydalanildi. Dastlab namunalarning kimyoviy tarkibi aniqlanib, undagi SiO<sub>2</sub> miqdori miqdoriy jihatdan baholandi. Oldindan quritilib va maydalanilgan xomashyo magniy kukuni bilan stexiometrik nisbatda aralashtirildi.

Kremniy sintezi mahalliy qum asosidagi xomashyo hamda magniy kukunidan tayyorlangan aralashmani mikroto'lqinli pech sharoitida termik qayta ishlash orqali amalga oshirildi. Qaytarish jarayoni yopiq reaktorda 500–950°C harorat oralig'ida olib boriladi va bu usul 15 nm gacha bo'lgan kichik o'lchamdagi kremniyda murakkab xususiyatlarni saqlab qolish qobiliyatini ko'rsatadi [2].

Magniotermik qaytarish jarayoni kremniy dioksidni (SiO<sub>2</sub>) magniy (Mg) yordamida qaytarishga asoslanadi. Jarayon davomida magniy kremniy dioksid bilan reaksiyaga kirishadi va natijada elementar kremniy hamda magniy oksid hosil bo'ladi.

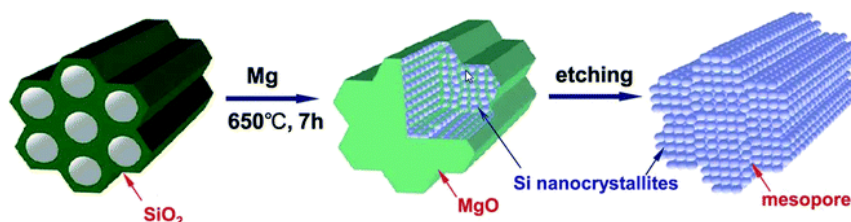
Reaksiya quyidagicha ifodalanadi:





Reaksiya natijasida hosil bo'lgan mahsulot kremniy va MgO fazalarining o'zaro bog'langan kompozit tuzilmasidan iborat bo'ladi. Keyingi bosqichda magniy oksid xlorid kislota (HCl) yordamida eritilib olib tashlanadi.

Ikki bosqichli qaytarish va kimyoviy o'sish jarayoni natijasida (1-rasm) shakllanadigan mezog'ovakli kremniy morfologiyasi mahsulot fazalarining o'zaro bog'langanligiga bevosita bog'liq. Aynan shu o'zaro bog'langan agregat tuzilma MgO ni to'liq va samarali olib tashlash imkonini beradi, shu bilan birga kremniy skeleti saqlanib qoladi. Si va MgO fazalarining bunday morfologiyasi reaksiya interfeysining barqarorligi hamda reaktiv moddalarning fazalar bo'ylab diffuziyasi bilan izohlanadi [3].



**1-rasm.** Magnioterмик qaytarish va undan keyingi kimyoviy o'sish bosqichlarini o'z ichiga olgan ikki bosqichli jarayonning umumlashtirilgan sxemasi.

Reaksiya yakunlangach, hosil bo'lgan MgO va ortiqcha magniy xlorid kislota eritmasi yordamida yuvildi. Kislota qoldiqlaridan tozalash maqsadida distillangan suvda 4 va 5 marta yuvildi. Natijada kremniy kristalli olinadi.

Olingan mahsulot quyidagi usullar bilan tahlil qilindi:

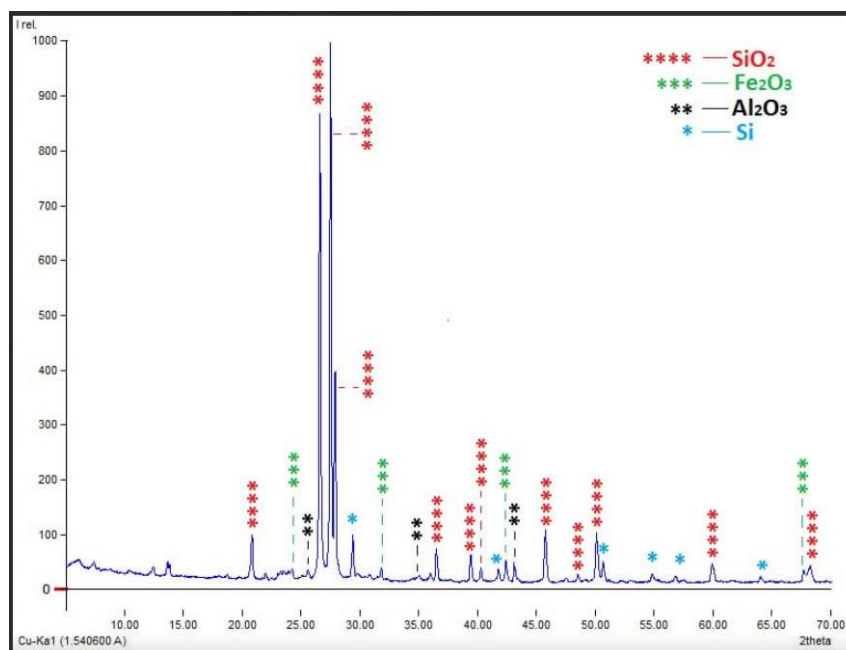
1. Rentgen difraksiyon tahlil (XRD)
2. Skanerlovchi elektron mikroskopiya (SEM)
3. Kimyoviy tarkib tahlili

#### **Rentgen difraksiyon tahlil (XRD)**

Rentgen difraksiyon tahlil (XRD) qattiq moddalarning kristall tuzilishini aniqlashda qo'llaniladigan eng muhim fizik usullardan biridir. Ushbu usul rentgen nurlarining kristall panjaradagi atom tekisliklaridan qaytishi va interferensiyaga uchrashi hodisasiga asoslanadi. Keltirilgan 2-rasmida kremniy namunasiga xos asosiy



piklar kuzatiladi. Taxminan  $28^\circ$  atrofidagi kuchli pik tekislikka mos keladi va odatda eng intensiv maksimum hisoblanadi.



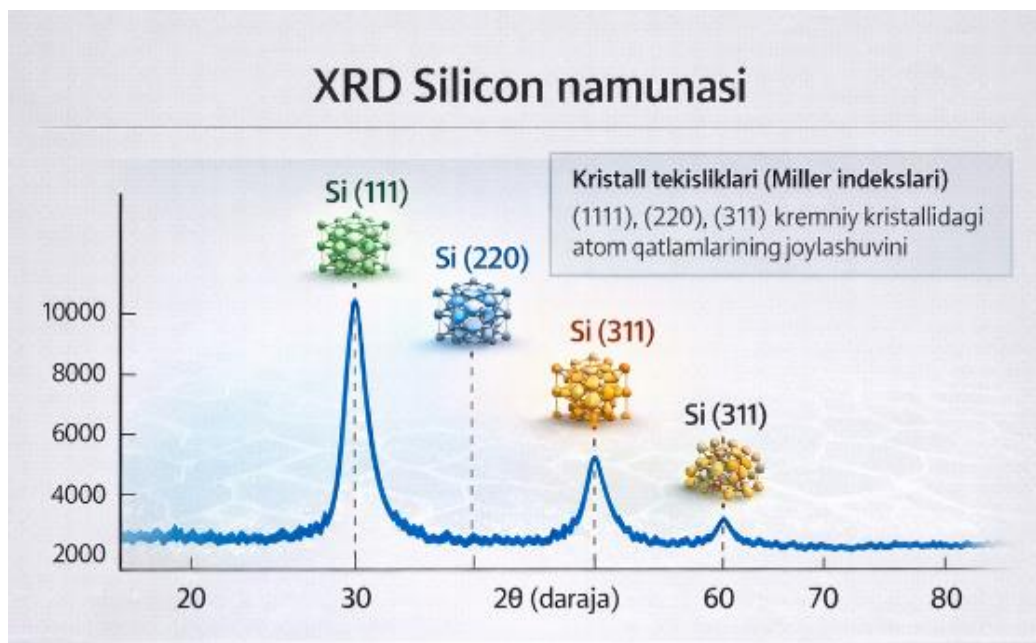
**2-rasm.** X-ray difraksiya (XRD) natijalari va  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , Si fazalari aniqlangan.

Mahalliy kvarts qumlaridan magniotermik qaytarish usuli orqali kremniy olish jarayonida  $\text{SiO}_2$  magniy yordamida qaytarilib, elementar kremniy va MgO hosil qiladi. Reaksiya yuqori haroratda boradi va keyingi bosqichda MgO kislota bilan yuvish orqali ajratib tashlanadi. Jarayon samaradorligini baholashda XRD asosiy nazorat usuli bo‘lib xizmat qiladi, chunki u hosil bo‘lgan fazalarni aniq ko‘rsatadi.

An’anaviy kremniy kompozitini magniotermik qaytarish usuli orqali mahalliy kvarts qumlaridan qayta tiklash natijasida hosil bo‘lgan kremniy zarralarining XRD naqshlari kremniyning kubik kristall tuzilishini va uning (111), (220) va (311) tekisliklariga mos piklarga ega ekanligini ko‘rsatadi. Ushbu XRD natijalari magniy yordamida kvarts qumlaridan yuqori tozalikka ega texnik kremniy olishda magniotermik qaytarishning samaradorligini tasdiqlaydi [4].



Magniotermik qaytarish jarayonida Mg reaktant sifatida ishlatiladi va yuqori haroratda MgO va elementar kremniy hosil bo‘ladi. Keyingi bosqichda MgO kislotali yuvish bilan olib tashlanadi, natijada toza kremniy olinishiga erishiladi.

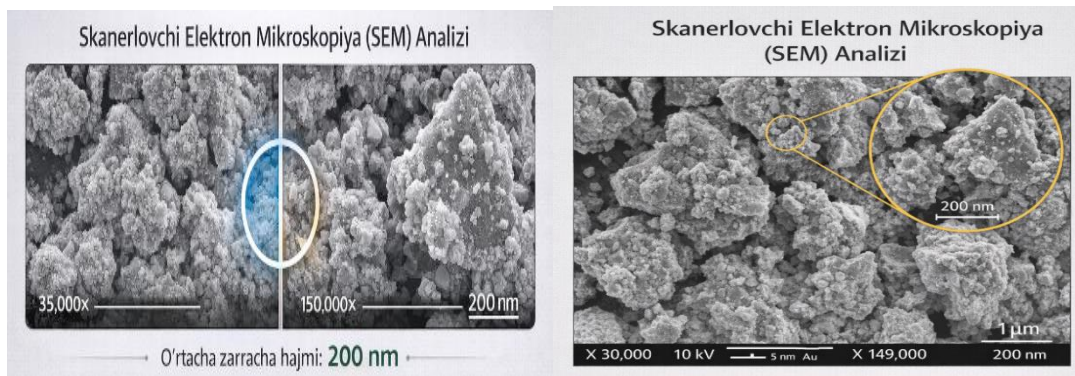


**3-rasm.** Kremniyning XRD difraktogrammasi va uning asosiy piklari.

## 2. Skanerlovchi elektron mikroskopiya (SEM) nazariyasi

4-rasmda SEM tasvirlari magniotermik qaytarish usuli yordamida mahalliy kvars qumlaridan olinadigan texnik kremniy nanostrukturalarining mikroskopik ko‘rinishini ko‘rsatadi. Tasvirlarning chap qismida 35000 marta kattalashtirishda, o‘ng qismida esa 150000 marta kattalashtirishda kremniy zarralarining yuzasi va shakli aniq ko‘rinadi.

SEM tasvirlaridan ko‘rinib turibdiki, kremniy nanopartikullari o‘rtacha hajmi taxminan **200 nm** ni tashkil qiladi. Zarrachalarning shakli bir-biriga yopishgan, guruhlangan holatda bo‘lib, ularning yuzasi biroz g‘ovakli va porozli tuzilishga ega. Magniotermik qaytarish natijasida hosil bo‘lgan kremniyning dispersligi va morfologik o‘zgarishlari SEM tasvirlari asosida baholanadi.



**4-rasm.** Magniotermik qaytarish orqali olingan kremniy nanopartikullarining SEM tasviri, oʻrtacha zarracha hajmi taxminan 200 nm.

### 3. Kimyoviy tarkib tahlili nazariyasi

Kimyoviy tarkib tahlili mahsulot tarkibidagi asosiy va qoʻshimcha elementlarning miqdoriy nisbatini aniqlashga xizmat qiladi. Ushbu tahlil turli usullar yordamida amalga oshirilishi mumkin, jumladan: Magniotermik qaytarish usuli orqali mahalliy kvars qumlaridan olingan texnik kremniyning kimyoviy tarkibi zamonaviy instrumental analiz usullari yordamida aniqlandi. Natijalar shuni koʻrsatdiki, mahsulotning asosiy komponenti sifatida kremniy yuqori miqdorda hosil boʻlgan, bu esa jarayonning samaradorligini tasdiqlaydi.

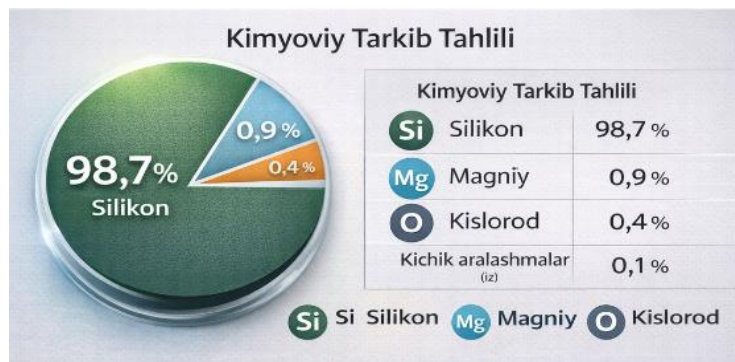
5-rasmda aniqlangan tarkib quyidagicha:

- 1. Kremniy (Si): 98,7 %** – jarayonning deyarli toʻliq kechganligini bildiradi.
- 2. Magniy (Mg): 0,9 %** – ortiqcha magniy qoldigʻi yoki MgO fazasining toʻliq ajralmagan qismi bilan izohlanadi.
- 3. Kislород (O): 0,4 %** – kremniy yuzasida hosil boʻlgan yupqa oksid qatlam ( $\text{SiO}_2$ ) tufayli mavjud.
- 4. Kichik aralashmalar (0,1 %) (Fe, Al, Ca va boshqa elementlar)** – xomashyoning tabiiy qoʻshimchalari hisoblanadi.

Shu bilan, mahalliy kvars qumlaridan magniotermik qaytarish usuli orqali 98 % dan ortiq sof texnik kremniy olish mumkinligi tasdiqlanadi. Ushbu natijalar



texnologiyaning nafaqat samarali, balki sanoat va iqtisodiy jihatdan ham qulay ekanligini ko'rsatadi.



**5-rasm.** Magnioterмик qaytarish orqali olingan (yuvilmagan) texnik kremniy tarkibi

Magnioterмик qaytarish usuli kremniy dioksiddan ( $\text{SiO}_2$ ) elementar kremniy olishning samarali alternativ yo'llaridan biri hisoblanadi. Liang va uning sheriklari tomonidan olib borilgan tadqiqot [5] ikki bosqichli (2) va (3) da tasvirlangandek - "chuqur qaytarilish va qisman oksidlanish" kabi ikki bosqichli yo'lini namoyish etdi va magniy yordamida  $\text{SiO}_2$  ni qaytarish asosida amalga oshiriladi. Ushbu jarayon sxematik ko'rinishda 6-rasmda tasvirlangan.



**6-rasm.**  $\text{SiO}_2$  ni magnioterмик qaytarish asosida kremniy olish jarayonining sxematik tasviri: chuqur qaytarilish ( $\text{Mg}_2\text{Si}$  va  $\text{MgO}$  hosil bo'lishi),  $\text{Mg}_2\text{Si}$  ning qisman oksidlanishi hamda kislota eritmasida tozalash bosqichlari.

Birinchi bosqichda  $\text{SiO}_2$  bug' holatidagi yoki yuqori reaktiv magniy bilan o'zaro ta'sirlashib, magniy oksidi va magniy silitsid hosil qiladi:



Keyingi bosqichda hosil bo'lgan  $\text{Mg}_2\text{Si}$  kislorod ishtirokida qisman oksidlanadi va natijada elementar kremniy ajralib chiqadi:



Shundan so'ng MgO va ortiqcha magniy kislota eritmasi (odatda HCl) yordamida eritib ajratiladi. Natijada yuqori dispersli yoki g'ovak tuzilishga ega kremniy olinadi.

O'tkazilgan tadqiqotlar natijasida mahalliy kvars qumlarini magniotermik qaytarish orqali texnik kremniy ajratib olish texnologiyasining nafaqat nazariy jihatdan asosli ekanligi, balki amaliy jihatdan yuqori iqtisodiy va texnologik samaradorlikka egaligi to'liq isbotlandi. Tadqiqot jarayonida qo'llanilgan zamonaviy tahlil usullari, jumladan, rentgen-fazaviy tahlil ma'lumotlari olingan namunalarning kristallik darajasi yuqori ekanligini va jarayon yakunida kremniyning barqaror fazaviy holati shakllanganligini yaqqol tasdiqladi. Shu bilan birga, skanerlovchi elektron mikroskopiya yordamida olingan mikrosuratlar kremniy zarrachalarining o'ziga xos mikromorfologiyasini, ya'ni keyingi kimyoviy-texnologik jarayonlar uchun o'ta muhim bo'lgan g'ovakdor strukturani ochib berdi, bu esa mahsulotning yuqori sirt faolligidan dalolat beradi. Kimyoviy tarkibni aniqlash jarayonida magniy oksidi va boshqa qo'shimcha aralashmalarning samarali tozalanganligi, olingan kremniyning tozalik ko'rsatkichlari bo'yicha amaldagi texnik standartlar va sanoat talablariga to'la muvofiqligi aniqlandi. Xulosa qilib aytganda, ushbu tadqiqot mahalliy mineral xomashyo resurslaridan oqilona foydalanish, respublikamizda kremniy ishlab chiqarishni mahalliyashtirish va yuqori texnologik sohalar uchun xomashyo bazasini yaratishda fundamental ilmiy-amaliy poydevor bo'lib xizmat qiladi.

### Adabiyotlar

1. Гадалова, О. Создание производства поликристаллического кремния электронного качества из моносилана//О.Гадалова [и др.] Наноиндустрия-2020.Вып.1. [Электронный ресурс].



2. Richman EK, Kang CB, Brezesinski T, Tolbert SH. 2008 Ordered mesoporous silicon through magnesium reduction of polymer templated silica thin films. *Nano Lett.* 2008 Sep;8(9):3075-9. doi: 10.1021/nl801759x. Epub . PMID: 18702552.
3. Rapp, R.A., Ezis, A. & Yurek, G.J. Displacement reactions in the solid state. *Metallurgical Transactions*, 4(5), 1283–292. <https://doi.org/10.1007/bf02644523>
4. Fei Zhou, Zhitong Shang, Xiaoyu Zhao, Qiang Yu, YiChen Mu, Haoran Xu, Xiaojun Tang, Siyuan Huang and Xiaocheng Li *New J. Chem.*, 2023,47, 6313-6322
5. Liang J, Li X, Hou Z, Zhang W, Zhu Y, Qian Y. (2016) A deep reduction and partial oxidation strategy for fabrication of mesoporous SI anode for lithium ion batteries. *ACS Nano*, 10(2), 2295–2304. <https://doi.org/10.1021/acsnano.5b06995>