

TABIY KVARS QUMLARIDAN TEXNIK KREMNIY OLIŞDA ALUMINOTERMİK QAYTARISH JARAYONINI TAKOMILLASHTIRISH

t.f.f.d. (PhD) Jiyanova Sayyora Ibragimovna

Termiz davlat universiteti

jiyanovasayyora2021@gmail.com

Xurramov Baxriddin Baxtiyor o'g'li

Termiz davlat universiteti,

Fizika yo'nalishi 1-kurs magistranti

baxriddinxurramov0510@gmail.com

Abdurasulova Aziza Shuhratjon qizi

Termiz davlat universiteti,

Fizika yo'nalishi 2-kurs magistranti

azizaabdurasulova88@gmail.com

ANNOTATSIYA. Mazkur tadqiqotda tabiiy kvars qumlaridan yuqori tozalikka ega kremniy olish jarayoni aluminotermik qaytarish usuli asosida o'rganilgan. Xomashyoning dastlabki fizik-kimyoviy tavsifi aniqlanib, aralashmalardan tozalash bosqichlari takomillashtirilgan. Qaytarish jarayonining termodinamik asoslari hamda harorat va vaqt parametrlarining kremniy hosil bo'lishiga ta'siri tahlil qilinib va reaksiya natijasida hosil bo'lgan mahsulotning fazaviy tarkibi rentgen difraksion tahlil (XRD), mikrostrukturasi esa skanerlovchi elektron mikroskopiya (SEM) usullari yordamida baholangan. Olingan natijalar aluminotermik qaytarish usuli nisbatan past harorat sharoitida yuqori tozalikdagi kremniy olish imkonini berishini hamda jarayon parametrlarini takomillashtirish hamda mahsulot sifatini oshirishda muhim omil ekanligini ko'rsatmoqda.

Kalit so'zlar: kvars qumi, SiO₂, aluminotermik qaytarish, fazaviy tahlil, texnik kremniy.

IMPROVEMENT OF THE ALUMINOTHERMIC REDUCTION PROCESS FOR OBTAINING HIGH-PURITY SILICON FROM NATURAL QUARTZ SANDS

ABSTRACT. In this study, the process of obtaining high-purity silicon from natural quartz sands was studied based on the aluminothermic reduction method. The initial physicochemical characteristics of the raw material were determined, and the steps for purification from impurities were optimized. The thermodynamic basis of the reduction process and the effect of temperature and time parameters on the formation of silicon were analyzed, and the phase composition of the product formed as a result

of the reaction was evaluated using X-ray diffraction analysis (XRD), and the microstructure was evaluated using scanning electron microscopy (SEM). The results obtained show that the aluminothermic reduction method allows obtaining high-purity silicon at relatively low temperatures, and optimization of process parameters is an important factor in improving product quality.

Keywords: quartz sand, SiO₂, aluminothermic reduction, phase analysis, high-purity silicon.

УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОЦЕССА АЛЮМОТЕРМИЧЕСКОГО ВОССТАНОВЛЕНИЯ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ КРЕМНИЯ ВЫСОКОЙ ЧИСТОТЫ ИЗ ПРИРОДНОГО КВАРЦЕВОГО ПЕСКА

АННОТАЦИЯ. В данном исследовании изучался процесс получения высокочистого кремния из природных кварцевых песков методом алюмотермического восстановления. Были определены исходные физико-химические характеристики сырья и оптимизированы этапы очистки от примесей. Проанализированы термодинамические основы процесса восстановления и влияние температурных и временных параметров на образование кремния, а также оценен фазовый состав продукта, образовавшегося в результате реакции, с помощью рентгенодифракционного анализа (РД), и микроструктура с помощью сканирующей электронной микроскопии (СЭМ). Полученные результаты показывают, что метод алюмотермического восстановления позволяет получать высокочистый кремний при относительно низких температурах, а оптимизация параметров процесса является важным фактором повышения качества продукта.

Ключевые слова: кварцевый песок, SiO₂, алюмотермическое восстановление, фазовый анализ, высокочистый кремний.

Kremniy alyuminiy qotishmalarida asosiy element bo'lib xizmat qiladi va tranzistorlar, yarimo'tkazgichlar va quyosh panellarini ishlab chiqarish uchun juda muhimdir. Innovatsiya va ekologik barqarorlik tezlashib borayotgan bugungi kunda ushbu muhim materiallarga talab 2030-yilga kelib 5,1% yillik o'sish sur'atiga (CAGR) o'sishi prognoz qilinmoqda [1].

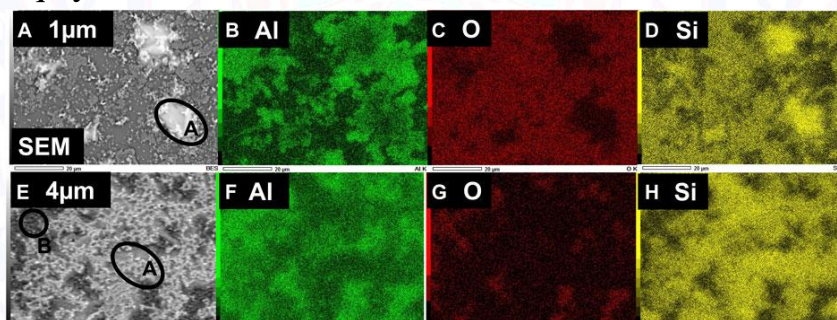
Yuqori tozalikka ega kremniy elektronika va quyosh energetikasi sohalarida muhim ahamiyatga ega material hisoblanadi. An'anaviy karbotermik usul yuqori energiya sarfi bilan tavsiflanadi va mahsulot tarkibida qo'shimcha aralashmalar paydo bo'lishi mumkin. Shu sababdan metallotermik qaytarish usullari xususan, aluminotermik (1)-pastroq harorat sharoitida kremniy olishning istiqbolli boshqa bir imkoniyatdir sifatida qaralmoqda.

Aluminotermik qaytarish quyidagi reaksiya asosida amalga oshadi:



SiO₂ ning alyuminotermik kamayishi odatda 650 °C dan 800 °C gacha, Al ning erish nuqtasi 660 °C bo‘lganligi sababli amalga oshiriladi [2].

Bu jarayon ekzotermik xususiyatga ega bo‘lib, qaytaruvchi metallning kimyoviy faolligi jarayon kinetikasiga sezilarli ta‘sir ko‘rsatadi. Yaqinda tadqiqotchilar SiO₂ dan Si ishlab chiqarish uchun alyuminotermik qaytarilish usulini, asosan energiya saqlash qurilmalari sohasida, masalan, ikkilamchi ion batareyalarida anod materiallari sifatida ko‘rib chiqmoqdalar. Kremniy manbai sifatida tijorat kvars kukuni (SiO₂), chiqindi stakanlar va shuningdek, guruch po‘stlog‘i haqida xabar berilgan [3]. Skanerlovchi elektron mikroskopiya (SEM) usuli yordamida olingan namunalar yuzasining morfologiyasi va mikrostrukturaviy xususiyatlari o‘rganiladi. SEM tasvirlari kremniy qatlamining donachali (granulyar) tuzilishga ega ekanligini hamda Al qatlami qalinligi ortishi bilan zarrachalar o‘lchami va zichligi o‘zgarishini ko‘rsatadi. 700 °C da 4 soat davomida alyuminotermik qaytarish natijasida olingan namunalar uchun normallashtirilgan elementar tarkibning EDS xaritasi keltirilgan. 1-rasmning yuqori va pastki qismlarida mos ravishda 1 μm va 4 μm qalinlikdagi Al plyonkasi asosida hosil qilingan Si qatlamlarining elementar taqsimlanishi ko‘rsatilgan. Yuqori harorat va qalinroq Al qatlamida hosil bo‘lgan namunalar nisbatan zichroq va yaxlit mikrostrukturaga ega ekani kuzatildi. Bu esa qaytarish jarayonining yanada to‘liq kechganini tasdiqlaydi.



1-rasm. 700 °C da kvarts asosida alyuminotermik qaytarish orqali olingan Si qatlamlarining elementar Si, O va Al bo‘yicha normallashtirilgan EDS xaritasi keltirilgan. Yuqori (A–D) va pastki (E–H) panellarda mos ravishda 1 μm va 4 μm qalinlikdagi Al plyonkalari asosida hosil qilingan Si qatlamlarining elementar taqsimlanishi ko‘rsatilgan.

Aluminotermik qaytarish jarayonining samaradorligini baholashda nafaqat hosil bo‘lgan mahsulotning kimyoviy tarkibi, balki uning strukturaviy mukammalligi va kristallanish darajasini aniqlash ham muhim ahamiyat kasb etadi. Jarayon parametrlarining o‘zgarishi kremniyning fazaviy holati va mikrostrukturaviy xususiyatlariga bevosita ta‘sir ko‘rsatishi sababli, olingan namunalarni chuqur strukturaviy tahlil qilish talab etiladi. Shu maqsadda hosil bo‘lgan kremniy

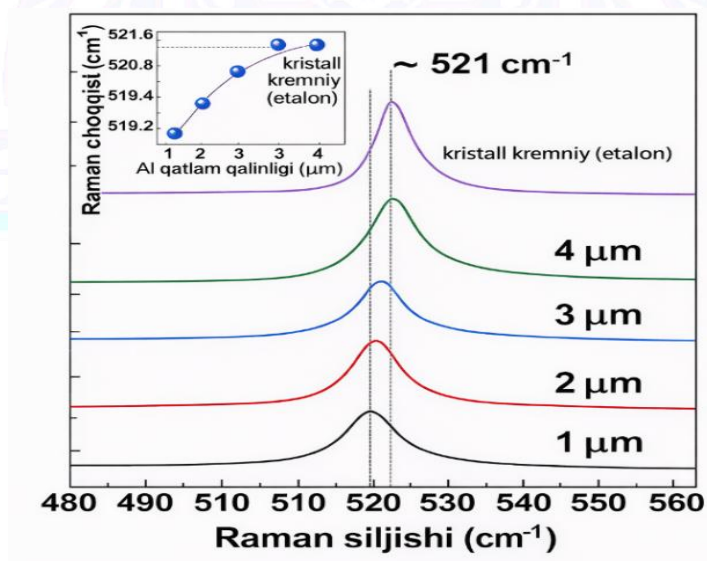
namunalarining kristall tuzilishini aniqlash uchun Raman spektroskopiya usulidan foydalanildi.

Raman spektroskopiya kremniyning kristall holatini aniqlashda yuqori sezgir usul bo‘lib, monokristall kremniy uchun xos bo‘lgan birinchi tartibli optik fonon tebranishi $520\text{--}521\text{ cm}^{-1}$ sohada kuzatiladi. Ushbu cho‘qqining pozitsiyasi va shakli materialning kristallanish darajasi hamda strukturaviy nuqsonlar mavjudligi haqida muhim ma‘lumot beradi.

Agar materialda amorf faza yoki strukturaviy nuqsonlar mavjud bo‘lsa, Raman cho‘qqisi kengayadi, intensivligi kamayadi va maksimum pozitsiyasi siljishi mumkin. Shu sababli cho‘qqining pozitsiyasi va kengligi kristallanish darajasini baholashda muhim parametr hisoblanadi [4].

Mazkur tadqiqotda aluminotermik qaytarish jarayonida alyuminiy qatlam qalinligining kremniy kristallanishiga ta‘siri o‘rganildi. Tajribalar $1\text{ }\mu\text{m}$, $2\text{ }\mu\text{m}$, $3\text{ }\mu\text{m}$ va $4\text{ }\mu\text{m}$ qalinlikdagi alyuminiy qatlamlari asosida amalga oshirildi. Olingan Raman spektrlari shuni ko‘rsatdiki, $1\text{ }\mu\text{m}$ qalinlikdagi namunada $\sim 521\text{ cm}^{-1}$ atrofidagi cho‘qqi mavjud bo‘lsa-da, uning kengligi nisbatan katta va intensivligi past bo‘lib, bu kristallanish darajasi yetarli emasligini bildiradi. $2\text{ }\mu\text{m}$ va $3\text{ }\mu\text{m}$ qalinliklarda cho‘qqi torayib, intensivlik ortgani kuzatildi, bu kristall faza ulushi oshganini ko‘rsatadi. $4\text{ }\mu\text{m}$ qalinlikdagi namunada esa Raman cho‘qqisi referens monokristall kremniy qiymatiga maksimal darajada yaqinlashgan bo‘lib, cho‘qqining tor va yuqori intensivlikka ega ekani yuqori darajadagi kristallanishni tasdiqlaydi [5].

Demak, alyuminiy qatlam qalinligi $1\text{ }\mu\text{m}$ dan $4\text{ }\mu\text{m}$ gacha oshirilganda aluminotermik qaytarish jarayonining samaradorligi ortadi, strukturaviy tartiblanish yaxshilanadi va amorf faza ulushi kamayadi. Raman spektrlardagi $\sim 521\text{ cm}^{-1}$ cho‘qqining referens qiymatga yaqinlashishi yuqori sifatli kristall kremniy hosil bo‘lganini ko‘rsatadi (2-rasm).



2-rasm .700°C haroratda tavlash haroratida kvarts substratlarini alyuminotermik qayta tiklash orqali va Al kvarts strukturasi bilan turli qalinlikdagi Al-plyonka bilan olingan Si-qatlamlarining Raman spektrlari. Rasmning ichki qismida Al qatlamining qalinligiga qarab Si qatlamlarida Raman faol rejimining cho‘qqi siljishi ko‘rsatilgan.

Ushbu tadqiqotda xulosa qilib kvarts asos materialida alyuminotermik qaytarish orqali Si yupqa qatlamlarini hosil qilish jarayoni o‘rganildi. Tajriba natijalari kremniy hosil bo‘lish samaradorligi Al qatlamining qalinligi hamda tavlash haroratiga bevosita bog‘liqligini ko‘rsatdi. 700°C da, ya‘ni Al qisman suyuqlangan sharoitda, kremniy miqdori 650°C dagi qattiq fazali jarayonga nisbatan yuqori bo‘ldi. Bu holat suyuqlangan alyuminiyning SiO₂ tarkibiga chuqurroq kirib borishi va reaksiya jarayonining faolroq kechishi bilan izohlanadi. Al qatlamining qalinligi ortishi bilan reaksiya tezligi va kremniy chiqimi oshishi kuzatildi. Aksincha, yupqa Al qatlamida reaksiyaning to‘liq borishi cheklanadi va kremniy hosildorligi kamayadi.

XRD tahlillari natijasida hosil bo‘lgan qatlamlarda kristall kremniy fazalari aniqlandi. Raman spektroskopiyasi natijalari esa ~521 cm⁻¹ sohada xarakterli cho‘qqi mavjudligini ko‘rsatib, olingan kremniyning kristall tuzilishga ega ekanligini tasdiqladi. Shuningdek, Al qatlami qalinligi ortishi bilan Raman cho‘qqisining aniqligi va intensivligi yaxshilangani kuzatildi, bu esa kristallik darajasining oshganini bildiradi.

Adabiyotlar

1. Silicon Market Size—Global Industry, Share, Analysis, Trends and Forecast 2022–2030. Acumen Research and Consulting. Available online: <https://www.acumenresearchandconsulting.com/silicon-market> (accessed on 15 January 2024).
2. Lai Y, Thompson JR, Dasog M. Metallothermic Reduction of Silica Nanoparticles to Porous Silicon for Drug Delivery Using New and Existing Reductants. *Chemistry*. 2018 Jun 4;24(31):7913-7920. doi: 10.1002/chem.201705818. Epub 2018 May 8. PMID: 29569356.
3. Radwan, M., Rashad, M., and El-Tawil, S. (2005). Chemical upgrading and aluminothermic reduction of Egyptian sand, 5. *European Journal Of Mineral Processing & Environmental Protection*.
4. Parker, J., Feldman, D., and Ashkin, M. (1967). Raman scattering by silicon and germanium. *Phys. Rev.* 155, 712–714. doi:10.1103/physrev.155.712
5. Islam, M. M., Said, H., Hamzaoui, A. H., Mnif, A., Sakurai, T., Fukata, N., et al. (2022). Study of structural and optical properties of electrodeposited silicon films on graphite substrates. *Nanomaterials* 12, 363. doi:10.3390/nano12030363