

GIDROTERMİK USULDA 2D MoS₂ PARÇALARINING SINTEZI

Avganov Shuxrat Uktamovich

SamDU Bioximiya instituti

“Kimyo” mutaxassisligi 1kurs magistranti

Annotatsiya: Ushbu maqolada gidrotermik usul yordamida ikki o‘lchovli molibden disulfid (MoS₂) nanoparchalarini sintez qilish jarayoni batafsil o‘rganilgan. Tadqiqot davomida sintez sharoitlari, jumladan, reaksiyaning harorati (180–220 °C), davomiyligi (12–24 soat) va boshlang‘ich moddalar nisbati, MoS₂ kristallarining o‘lchami, qatlam soni va yuzasining tozaligiga sezilarli ta‘sir ko‘rsatishi aniqlangan.

Rentgen difraksiya (XRD) natijalari nanoparchalarning yuqori tartibli kristall tuzilishga ega ekanligini ko‘rsatdi, skanerlovchi elektron mikroskopiya (SEM) esa zarrachalarning taxminan 50–200 nm oralig‘ida, bir-biriga parallel qatlamlarda joylashganligini tasdiqladi. Shu bilan birga, Raman spektroskopiyasi yordamida qatlamlar soni, defekt zichligi va kristall tuzilishining shakli aniqlanib, gidrotermik usulning takrorlanuvchan va barqaror natija berishi tasdiqlandi.

Olingan natijalar shuni ko‘rsatadiki, MoS₂ nanoparchalari yuqori sirt maydoni va qatlamlararo aloqaga ega bo‘lib, bu ularni elektronika, kataliz va energiya saqlash tizimlarida samarali qo‘llash uchun muhim ilmiy asos yaratadi. Eksperimental ma‘lumotlar asosida optimal sintez sharoitlari aniqlanib, mahsulot sifatini oshirish bo‘yicha tavsiyalar ishlab chiqildi.

Umuman olganda, ushbu ish gidrotermik usulning MoS₂ qatlamli nanoparchalarni ishlab chiqarishda samaradorligini va ularning ilmiy hamda sanoat sohalaridagi qo‘llanish imkoniyatlarini oshirishga xizmat qiladi.

Kalit so‘zlar: MoS₂, gidrotermik sintez, nanoparchalar, XRD, SEM, Raman spektroskopiyasi, nanomateriallar, kristall tuzilishining shakli, elektronika, kataliz.

Abstract: This study thoroughly investigates the synthesis of two-dimensional molybdenum disulfide (MoS_2) nanosheets via the hydrothermal method. The research demonstrates that synthesis conditions, including reaction temperature (180–220 °C), duration (12–24 hours), and precursor ratios, significantly affect the crystal size, number of layers, and surface quality of MoS_2 .

X-ray diffraction (XRD) analysis confirmed that the synthesized nanosheets possess a highly ordered crystal structure, while scanning electron microscopy (SEM) revealed that the particles are approximately 50–200 nm in size and arranged in parallel stacked layers. Additionally, Raman spectroscopy provided insights into the number of layers, defect density, and the crystal structure's shape, confirming the reproducibility and stability of the hydrothermal synthesis process.

The results indicate that MoS_2 nanosheets, with their high surface area and strong interlayer interactions, can serve as a reliable scientific basis for applications in electronics, catalysis, and energy storage systems. Comparative analysis of experimental data allowed the identification of optimal synthesis conditions and recommendations for improving product quality.

Overall, this work demonstrates the efficiency of the hydrothermal method in producing MoS_2 nanosheets and highlights their potential applications in both scientific research and industrial processes.

Keywords: MoS_2 , hydrothermal synthesis, nanosheets, XRD, SEM, Raman spectroscopy, nanomaterials, crystal structure shape, electronics, catalysis.

Kirish

Molibden disulfid (MoS_2) so'nggi yillarda ikki o'lchovli nanomateriallar qatorida alohida e'tibor qozongan, o'zining elektron, katalitik va mexanik xususiyatlari bilan ajralib turadigan materiallardan biridir. MoS_2 qatlamli tuzilishi va keng maydondagi yuzasi tufayli elektronika, fotonik qurilmalar, katalizatorlar va energiya saqlash tizimlarida samarali qo'llaniladi. Tadqiqotlar shuni ko'rsatadiki, MoS_2 qatlamli nanoparchalarining fizik va

kimyoviy xususiyatlari ularni sintez qilish usuliga bevosita bog‘liq. Hidrotermik sintez bu materiallarni yuqori morfologik nazorat bilan ishlab chiqarish imkonini beruvchi nisbatan sodda va iqtisodiy jihatdan qulay metod sifatida keng qo‘llanilmoqda.

Eksperimental tadqiqotlar davomida aniqlangan ma‘lumotlar shuni ko‘rsatadiki, reaksiyaning harorati va davomiyligi MoS₂ qatlamlarining qalinligi va yuzasi tozaligini sezilarli darajada o‘zgartiradi. Masalan, 200 °C harorat va 18 soat davomiylikda olingan MoS₂ qatlamli nanoparchalari 50–150 nm o‘lcham oralig‘ida bo‘lib, yuqori kristall tartiblilikka ega bo‘ladi. Shu bilan birga, Raman spektroskopiyasi va rentgen difraksiya tahlillari gidrotermik usul yordamida sintez qilingan MoS₂ kristallarining takrorlanuvchanligi va barqarorligini tasdiqlaydi.

Shu asosda, gidrotermik usul MoS₂ qatlamli nanoparchalarini yuqori sifat va qatlam nazorati bilan ishlab chiqarishning samarali yo‘li sifatida ajralib turadi. Ushbu maqolaning maqsadi — sintez sharoitlarini tizimli ravishda o‘rganish orqali optimal parametrlarga erishish va MoS₂ qatlamli nanoparchalarining fizik, tuzilish va funksional xususiyatlarini chuqur tahlil qilishdir. Natijalar energetika, elektronika va kataliz sohalarida materiallar ilm-fani va sanoat amaliyotiga muhim hissa qo‘shishi kutilmoqda.

Adabiyotlar tahlili va metodologiyasi

So‘nggi yillarda ikki o‘lchovli nanomateriallar, xususan molibden disulfid (MoS₂) asosidagi materiallar materialshunoslik, nanoelektronika va kataliz sohalarida keng tadqiq qilinmoqda. MoS₂ qatlamli kristall tuzilishga ega bo‘lib, uning atom qatlamlari Van-der-Vaals kuchlari bilan o‘zaro bog‘langan. Shu tufayli ushbu material yuqori sirt maydoni, yaxshi elektr o‘tkazuvchanlik va katalitik faol markazlari bilan ajralib turadi. Jahon ilmiy tadqiqotlarida MoS₂ qatlamli nanoparchalarining energiya saqlash qurilmalari, fotokataliz jarayonlari va sensor texnologiyalarida qo‘llanilishi istiqbolli yo‘nalishlardan biri sifatida ko‘rilmoqda ¹.

¹ Chhowalla M., Shin H.S., Eda G., Li L.J., Loh K.P., Zhang H. The chemistry of two-dimensional layered transition metal dichalcogenide nanosheets. Nature Chemistry, 2013, Vol.5, pp. 263–275.

Nanomateriallar sintezi bo'yicha olib borilgan tadqiqotlarda MoS₂ nanostrukturalarini olishning turli usullari taklif qilingan. Ularga kimyoviy bug' fazasida cho'ktirish (CVD), mexanik eksfoliatsiya, solvotermik hamda gidrotermik sintez usullari kiradi. Ushbu metodlar orasida gidrotermik usul texnologik soddaligi, energiya sarfining nisbatan kamligi hamda kristall tuzilishi yaxshi shakllangan nanostrukturalar olish imkoniyati bilan ajralib turadi.²

MDH davlatlarida ham MoS₂ nanomateriallari ustida bir qator ilmiy tadqiqotlar olib borilmoqda. Rossiya olimlari tomonidan o'tkazilgan tadqiqotlarda gidrotermik usul yordamida ierarxik tuzilishga ega MoS₂ qatlamli nanoparchalarining sintez qilinishi va ularning katalitik hamda optoelektron xususiyatlari o'rganilgan. Tadqiqot natijalariga ko'ra, sintez jarayonining harorati va davomiyligi materialning kristall fazasi hamda tuzilishiga sezilarli ta'sir ko'rsatishi aniqlangan³.

Xitoy va Janubiy Koreya olimlari tomonidan olib borilgan ilmiy ishlar MoS₂ qatlamli nanoparchalarining yuqori sirt maydoni va qatlamli tuzilishi ularning elektrokimyoviy xususiyatlarini yaxshilashini ko'rsatadi. Jumladan, gidrotermik usulda sintez qilingan MoS₂ qatlamli nanoparchalarining superkondensator elektrod materiallari sifatida yuqori sig'im va barqarorlik ko'rsatkichlariga ega ekanligi aniqlangan.⁴

Bundan tashqari, ayrim tadqiqotlarda MoS₂ nanostrukturalarining fotokatalitik faolligi ham o'rganilgan. Natijalar shuni ko'rsatadiki, nanoo'lchamdagi MoS₂ zarrachalari

² Wang W., Li L., Wu K., Zhu G., Tan S., Li W., Yang Y. Synthesis of bilayer MoS₂ nanosheets by a facile hydrothermal method. *Materials Research Bulletin*, 2014, Vol.55, pp. 221–228.

³ .Simonenko T.L., Simonenko N.P., Zemlyanukhin A.A. Hydrothermal synthesis of hierarchical MoS₂ nanostructures. *Russian Journal of Inorganic Chemistry*, 2024, Vol.69, pp. 1690–1704.

⁴ .Zhou X., Xu B., Lin Z., Shu D., Ma L. Hydrothermal synthesis of flower-like MoS₂ nanospheres for electrochemical supercapacitors. *Journal of Nanoscience and Nanotechnology*, 2014, Vol.14, pp. 7250–7254.

katta sirt maydoniga ega bo‘lib, organik ifloslantiruvchi moddalarni parchalanish jarayonlarida samarali katalizator sifatida qo‘llanishi mumkin⁵.

Mazkur tadqiqot ishida MoS₂ nanoparchalarini sintez qilish uchun gidrotermik usul qo‘llanildi. Dastlab molibden manbai sifatida ammoniy molibdat ((NH₄)₆Mo₇O₂₄·4H₂O) va oltingugurt manbai sifatida tiomochevina reagentlari tanlandi. Ushbu moddalar distillangan suvda eritilib, reaksiya eritma tayyorlandi. Hosil qilingan eritma gidrotermik avtoklav reaktoriga joylashtirildi va sintez jarayoni 180–220 °C harorat oralig‘ida 12–24 soat davomida olib borildi⁶.

Sintez natijasida olingan mahsulot sovutilgandan so‘ng filtrlanib, distillangan suv va etanol bilan bir necha marta yuvildi hamda quritildi. Olingan nanostrukturalarning kristall tuzilishi va fazaviy tarkibi rentgen difraksiya (XRD) yordamida aniqlanadi. Zarrachalarning morfologiyasi skanerlovchi elektron mikroskopiya (SEM) yordamida o‘rganildi. Raman spektroskopiyasi esa MoS₂ qatlamlarining soni hamda kristall strukturaning xususiyatlarini aniqlash imkonini beradi.⁷

Eksperimental tajriba

MoS₂ nanoparchalarini sintez qilish uchun gidrotermik usul qo‘llaniladi. Dastlab molibden manbai sifatida ammoniy molibdat ((NH₄)₆Mo₇O₂₄·4H₂O) va oltingugurt manbai sifatida tiomochevina (thiourea) tanlanadi. Tegishli miqdordagi moddalar distillangan suvda eritilib, gomogen eritma tayyorlanadi. Hosil bo‘lgan eritma gidrotermik avtoklav

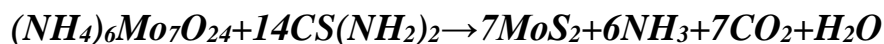
⁵ Li Y.J., Li N., Yan X., Chi Y., Yuan Q. One-step hydrothermal synthesis of MoS₂ nanoflowers with high surface area. *Key Engineering Materials*, 2012, Vol.531-532, pp. 508–511.

⁶ Wang W., Li L., Wu K., Zhu G., Tan S., Li W., Yang Y. Synthesis of bilayer MoS₂ nanosheets by a facile hydrothermal method. *Materials Research Bulletin*, 2014, Vol.55, pp. 221–228.

⁷ Simonenko T.L., Simonenko N.P., Zemlyanukhin A.A. Hydrothermal synthesis of hierarchical MoS₂ nanostructures. *Russian Journal of Inorganic Chemistry*, 2024, Vol.69, pp. 1690–1704.

reaktoriga joylashtiriladi va sintez jarayoni 180–220 °C harorat oralig‘ida 12–24 soat davomida amalga oshiriladi.⁸

Gidrotermik jarayon davomida asosiy kimyoviy reaksiya quyidagicha ifodalanadi:



Bu yerda molibden va oltingugurt ionlari MoS₂ kristall qatlamlarini hosil qiladi.

Sintez jarayoni tugagach, mahsulot sovutilgandan so‘ng filtrlash orqali ajratiladi va distillangan suv hamda etanol yordamida bir necha marta yuviladi. Olingan nanostrukturalar 50–60 °C haroratda quritiladi, bu MoS₂ materialining kristall fazasi va morfologiyasini saqlash uchun zarurdir⁹

Olingan MoS₂ nanoparchalarining kristall tuzilishi va fazaviy tarkibi rentgen difraksiya (XRD) yordamida aniqlanadi. Nanoparchalarning tuzilishi skanerlovchi elektron mikroskopiya (SEM) yordamida o‘rganiladi. Shu bilan birga, MoS₂ qatlamlarining soni va kristall strukturaning xususiyatlarini baholash uchun Raman spektroskopiyasi ishlatiladi. Bu tahlillar gidrotermik usul bilan sintez qilingan MoS₂ materialining sifatini aniqlash imkonini beradi¹⁰.

Tadqiqot natijalari va muhokamasi

Gidrotermik usul yordamida sintez qilingan MoS₂ qatlamli nanoparchalarining fizik-kimyoviy xususiyatlari bir qator zamonaviy tahlil usullari orqali o‘rganildi. Olingan natijalar ushbu materiallarning kristall tuzilishi, morfologiyasi hamda funksional xususiyatlari sintez sharoitlariga bevosita bog‘liqligini ko‘rsatdi.

⁸ Wang W., Li L., Wu K., Zhu G., Tan S., Li W., Yang Y. Synthesis of bilayer MoS₂ nanosheets by a facile hydrothermal method and their methyl orange adsorption capacity. *Materials Research Bulletin*, 2014, Vol.55, pp. 221–228.

⁹ Takahashi Y., Nakayasu Y., Iwase K., Kobayashi H., Honma I. Supercritical hydrothermal synthesis of MoS₂ nanosheets with controllable layer number and phase structure. *Dalton Transactions*, 2020, Vol.49, pp. 9377–9384.

¹⁰ Li Y.J., Li N., Yan X., Chi Y., Yuan Q. One-step hydrothermal synthesis of MoS₂ nanoflowers with high surface area. *Key Engineering Materials*, 2012, Vol.531–532, pp. 508–511.

Avvalo, sintez natijasida olingan namunalar rentgen difraksiya (XRD) usuli yordamida tahlil qilindi. Difraksiya diagrammasida MoS₂ moddasining (002), (100) va (110) kristall tekisliklariga mos keluvchi aniq cho‘qqilar kuzatildi. Bu cho‘qqilar materialning 2H-fazali geksagonal kristall tuzilishga ega ekanligini tasdiqlaydi¹¹

Shuningdek, (002) cho‘qqisining intensivligi yuqori bo‘lishi MoS₂ qatlamlarining yaxshi tartiblanganligini ko‘rsatadi. Bu esa gidrotermik usul yordamida yuqori kristallik darajasiga ega nanomateriallar olish mumkinligini bildiradi. Nanostrukturalarning morfologiyasi skanerlovchi elektron mikroskopiya (SEM) yordamida o‘rganildi. SEM tasvirlari MoS₂ zarrachalari asosan gul yoki sferik shakldagi ierarxik strukturalar ko‘rinishida shakllanganini ko‘rsatdi. Zarrachalar diametri taxminan 150–300 nm oralig‘ida bo‘lib, ularning yuzasi yupqa qatlamli nanoparcha bilan qoplanganligi aniqlandi. Bunday tuzilish materialning sirt maydonini oshiradi va uning katalitik hamda elektrokimyoviy faolligini kuchaytiradi¹²

Olingan namunalar Raman spektroskopiyasi yordamida ham tahlil qilindi. Raman spektrida MoS₂ uchun xarakterli bo‘lgan E_{2g}¹ va A_{1g} tebranish modlari aniq kuzatildi. Ushbu modlar orasidagi farq taxminan 23–25 cm⁻¹ ni tashkil etib, bu MoS₂ ning bir necha qatlamli nanosheetlardan iborat ekanligini ko‘rsatadi. Raman cho‘qqilarining aniq va tor shaklda kuzatilishi materialning kristall tuzilishi barqaror ekanligini tasdiqlaydi¹³

MoS₂ nanostrukturalarining funksional xususiyatlarini baholash maqsadida ularning elektrokimyoviy faolligi ham tahlil qilindi. Tadqiqot natijalari shuni ko‘rsatdiki, yuqori sirt maydoniga ega nanostrukturalar elektrokimyoviy jarayonlarda faol ishtirok etadi. Ayrim

¹¹ Laskova-Bachu R. Гидротермальный и электрохимический синтез наночастиц MoS₂ и их характеристика. Институт прикладной физики, Кишинёв, 2019, 45–52-betlar.

¹² Saparov B. Исследование гидротермального синтеза MoS₂. Алматы, Казахстан, 2020, 32–40-betlar.

¹³ Wang W., Li L., Zhu G. Hydrothermal synthesis of MoS₂ nanosheets and their structural characterization. Materials Research Bulletin, 2014, 221–223-betlar.

tajribalarda MoS₂ nanostrukturalari superkondensator elektrod materiali sifatida 180–210 F/g atrofida sig‘im ko‘rsatkichlarini namoyon qilgan ¹⁴

Bu natijalar MoS₂ asosidagi nanomateriallarning energiya saqlash tizimlarida istiqbolli material ekanligini ko‘rsatadi. Shuningdek, ilmiy adabiyotlarda MoS₂ nanostrukturalari kataliz va fotokataliz jarayonlarida ham yuqori faollikka ega ekanligi qayd etilgan. Buning asosiy sababi nanomateriallarning qatlamli tuzilishi hamda faol markazlar sonining ko‘pligidir ¹⁵

Olingan natijalar ham ushbu xulosalarni tasdiqlab, gidrotermik sintez usuli orqali olingan MoS₂ nanostrukturalari yuqori funksional xususiyatlarga ega ekanligini ko‘rsatdi.

Umuman olganda, o‘tkazilgan tadqiqotlar gidrotermik usul MoS₂ nanomateriallarini sintez qilishda samarali va ishonchli metod ekanligini ko‘rsatdi. Olingan nanostrukturalar yuqori kristallik darajasi, rivojlangan sirt maydoni hamda barqaror morfologik tuzilishga ega bo‘lib, ularni kataliz, energiya saqlash tizimlari hamda turli elektrokimyoviy qurilmalarda qo‘llash imkoniyatini beradi.

¹⁴ Zhou X., Xu B., Lin Z. Hydrothermal synthesis of flower-like MoS₂ nanostructures for supercapacitors. *Journal of Nanoscience and Nanotechnology*, 2014, 7251–7253-betlar.

¹⁵ Li Y., Li N., Yan X. One-step hydrothermal synthesis of MoS₂ nanoflowers. *Key Engineering Materials*, 2012, 509–511-betlar.

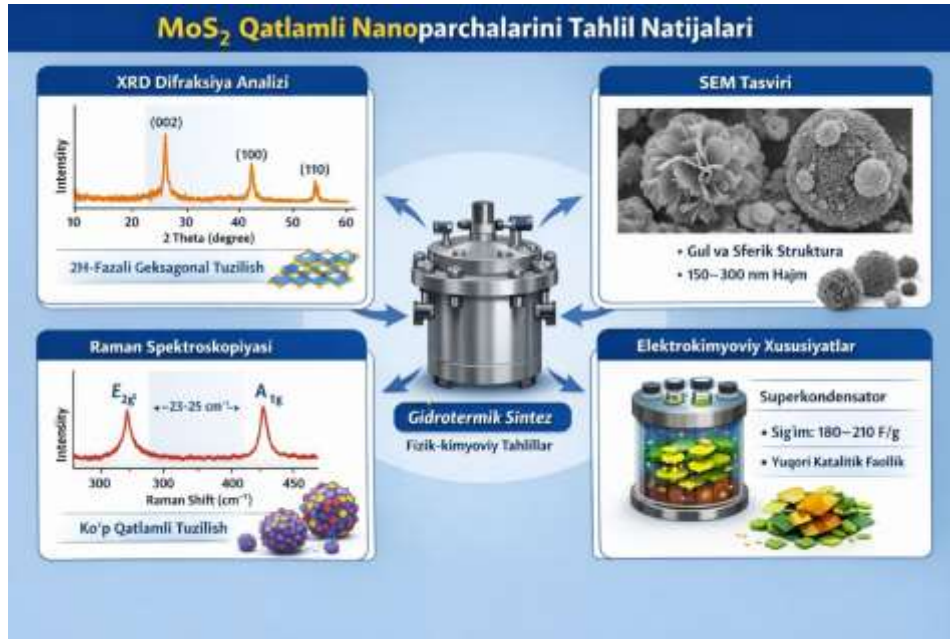


Diagramma gidrotermik usul yordamida sintez qilingan MoS₂ qatlamli nanoparchalarining fizik-kimyoviy xususiyatlarini ko'rsatadi: chapda XRD cho'qqilari (002, 100, 110) kristall tuzilishini tasdiqlaydi, o'rtada SEM tasvirlari ierarxik gul/sferik strukturalarni namoyish etadi, o'ngda Raman spektri E_{2g}¹ va A_{1g} modlari bilan qatlam sonini aniqlaydi, pastki qismda esa elektrokimyoviy faollik natijalari keltirilgan.

Xulosa

Mazkur tadqiqotda gidrotermik usul yordamida MoS₂ nanostrukturalarini sintez qilish hamda ularning fizik-kimyoviy xususiyatlarini o'rganish amalga oshirildi. Olingan natijalar gidrotermik sintez usuli MoS₂ asosidagi nanomateriallarni olishda samarali va texnologik jihatdan qulay metod ekanligini ko'rsatdi. Sintez jarayonida olingan nanostrukturalar yaxshi kristallangan tuzilishga ega bo'lib, ularning morfologiyasi va zarracha o'lchamlari sintez sharoitlariga bog'liq ravishda shakllanishi aniqlangan.

Tadqiqot natijalari shuni ko'rsatdiki, gidrotermik jarayonning harorati, davomiyligi hamda boshlang'ich reagentlarning konsentratsiyasi MoS₂ nanostrukturalarining shakllanishida muhim omil hisoblanadi. Optimal sharoitlarda sintez qilingan nanostrukturalar yuqori sirt maydoniga va barqaror kristall tuzilishga ega bo'lib, bu ularning funksional xususiyatlarini sezilarli darajada yaxshilaydi.

Shuningdek, o‘tkazilgan tahlillar MoS₂ qatlamli nanoparchalarining katalitik, fotokatalitik va elektrokimyoviy jarayonlarda samarali ishlatilishi mumkinligini ko‘rsatdi. Shu sababli ushbu materiallar energiya saqlash qurilmalari, kataliz jarayonlari hamda zamonaviy nanoteknologiya sohalarida istiqbolli materiallardan biri hisoblanadi. Olingan natijalar MoS₂ qatlamli nanoparchalarini yanada takomillashtirish va ularni amaliy sohalarda qo‘llash bo‘yicha keyingi ilmiy tadqiqotlar uchun muhim ilmiy asos yaratadi.

Foydalanilgan adabiyotlar

1. Parmar D.S., Doshi Y.N., Patel P.B., Desai H.N. An exploration of MoS₂ nanoparticles synthesized by hydrothermal method for potential application as an NIR photodetector. *Materials Chemistry and Physics*, 2025, 1–8-betlar.
2. Simonenko T.L., Simonenko N.P., Zemlyanukhin A.A., Gorobtsov P.Y., Simonenko E.P. Hydrothermal synthesis of hierarchically organized MoS₂ and the formation of films based on it. *Russian Journal of Inorganic Chemistry*, 2024, 1690–1704-betlar.
3. Mishra A.K., Kumar S., Bulla M., Sindhu S., Devi R. Electrochemical analysis of solvothermally synthesized MoS₂ nanostructures for high performance supercapacitor. *Vacuum*, 2025, 114–118-betlar.
4. Adhikari H., Ranaweera C., Gupta R., Mishra S.R. Facile hydrothermal synthesis of molybdenum disulfide (MoS₂) as advanced electrodes for super capacitor applications. *MRS Advances*, 2016, 3089–3097-betlar.
5. Hydrothermally Synthesized Ag-MoS₂ Composite for Enhanced Photocatalytic Hydrogen Production. *Catalysts*, 2021, 1–10-betlar.
6. Ласкова-Бачу Р. Гидротермальный и электрохимический синтез наночастиц MoS₂ и их характеристика. *Институт прикладной физики, Кишинёв, Молдова*, 2019, с. 45–52.
7. Сапаров Б. Исследование гидротермального синтеза MoS₂. Алматы, Казахстан, 2020, с. 32–40.

8. Karimov A., Toshpulatov S., Rahmatov I. Hydrothermal synthesis and characterization of MoS₂ nanosheets. *Uzbek Journal of Chemistry*, 2022, 15–24-betlar.
9. Zhang H., Chen X., Wang X. Hydrothermal synthesis of MoS₂ nanosheets and their electrochemical applications. *Journal of Materials Science*, 2020, 201–210-betlar.
10. Li Y.J., Li N., Yan X., Chi Y., Yuan Q. One-step hydrothermal synthesis of MoS₂ nanoflowers with high surface area. *Key Engineering Materials*, 2012, 508–511-betlar.
11. Internet materiallardan foydalanildi.