

ELECTROCHEMICAL PROPERTIES OF MOLYBDENUM IN AN AQUEOUS SOLUTION OF DIMETHYLESULPHOXIDE

L.K. Kudreyeva*, M.B. Abu, A.M. Sarsenbayeva, D.Kh. Kamysbayev, K.A. Issabekova

Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan

*E-mail: Leila.Kudreyeva@kaznu.kz

Abstract. Molybdenum and its compounds are widely used in production and industry due to their properties, such as mechanical strength, heat resistance, high electrical conductivity, high melting point and electrochemical catalytic activity. Therefore, their processing is undoubtedly a very urgent problem. One of the ways to solve this problem is associated with the use of aqueous-organic electrolyte solutions. The purpose of the work: to determine the patterns of electrochemical dissolution of molybdenum in aqueous solutions of dimethyl sulfoxide. Research methods. The work uses electrochemical (polarization measurements, electrolysis), X-ray spectral, microphotographs, and mathematical analysis methods. Results and discussion. Electrochemical dissolution of molybdenum in 0.25 M, 0.5 M, and 2 M LiCl solutions in an aqueous solution of dimethyl sulfoxide at different potential transfer rates is considered. The presence of water in electrolytes enhances the process of molybdenum transition into solution, the appropriate concentration of 0.25 M LiCl water was 38 mol/L H₂O. At these electrolyte concentrations, the thickness of the film formed on the molybdenum surface was estimated, the distance between adjacent defects, and the electrical conductivity of the film were determined. Concept. Electrochemical properties of the molybdenum electrode in an aqueous solution of dimethyl sulfoxide do not obey the laws of classical electrochemistry. Separation of molybdenum from the solid phase under such electrolytic conditions will undoubtedly have great application, for example, in the processing of solid foundry waste and the production of biosensors.

Keywords: molybdenum, electrochemical properties, dimethyl sulfoxide, shell, electrical conductivity, shell roughness, distance between adjacent defects.

| | |
|--|---|
| <i>Leila Kadirsizovna Kudreyeva</i> | <i>PhD, associate professor; E-mail: leila.kudreyeva@kaznu.kz</i> |
| <i>Moldir Bakytzhanovna Abu</i> | <i>Master's degree; E-mail: Moldir10082000@gmail.com</i> |
| <i>Aliya Muratovna Sarsenbayeva</i> | <i>PhD student; E-mail: sarsenbayeva.aliya@yandex.kz</i> |
| <i>Duysek Khaisagalievich Kamysbayev</i> | <i>Doctor of chemical sciences, professor; E-mail: duisek.kamysbayev@kaznu.kz</i> |
| <i>Karina Askarovna Issabekova</i> | <i>Master's; E-mail: 19karina19park@gmail.com</i> |

Citation: Kudreyeva L.K., Abu M.B., Sarsenbayeva A.M., Kamysbayev D.Kh., Issabekova K.A. Electrochemical properties of molybdenum in an aqueous solution of demithylesulphoxide. *Chem. J. Kaz.*, 2024, 4(88), 95-102. (In Kaz.). DOI: <https://doi.org/10.51580/2024-4.2710-1185.52>

**МОЛИБДЕННИҢ СУЛЫ ДИМЕТИСУЛЬФОКСИД ЕРІТІНДІСІНДЕГІ
ЭЛЕКТРОХИМИЯЛЫҚ ҚАСИЕТІ***Л.К. Кудреева*, М.Б. Абу, А.М. Сарсенбаева, Д.Х. Камысбаев, К.А. Исабекова**Казахский Национальный Университет имени Аль-Фараби, Алматы, Казахстан***E-mail: Leila.Kudreyeva@kaznu.kz*

Түйіндеме. Кіріспе. Молибден және олардың қосылыстарының механикалық беріктігі, ыстыққа төзімділігі, жоғары электр өткізгіштігі, балқу температурасының жоғарылығы және электрохимиялық каталитикалық активтілігі сияқты қасиеттерінің болуына байланысты өндірісте және өнеркәсіпте жоғары қарқынды қолданылады. Сондықтан оларды өңдеу аса өзекті мәселе екені сөзсіз. Бұл мәселені шешудің бір жолы сулы-органикалық ерітінді электролиттерін қолданумен байланысты. Жұмыс мақсаты: сулы – диметилсульфоксид ерітінділерінде молибденнің электрохимиялық еру заңдылықтарын анықтау. Зерттеу әдістері. Жұмыста электрохимиялық (поляризациялық өлшеулер, электролиз), рентген-спектрлік, микрофотосуреттер, сонымен қатар математикалық талдау әдістері қолданылды. Нәтижелер мен талқылау. Сулы-диметилсульфоксид ерітіндісінде әртүрлі потенциал берілу жылдамдықтарында 0.25 М, 0.5М 2М LiCl ерітінділерінде молибденнің электрохимиялық еру қарастырылды. Электролиттерге су қатысуы молибденнің ерітіндіге өту процесін ұлғайтады, 0.25 М LiCl ДМСО судың қолайлы концентрациясы 38 моль/л Н₂О болып табылды. Аталған электролит концентрацияларында молибден бетінде түзілген қабыршақтың қалыңдығы бағаланып, кедергісі, сондай-ақ қабыршақтың электрөткізгіштігі анықталды. Тұжырым. Сулы-диметилсульфоксид ерітіндісінде молибден электродының электрохимиялық қасиеті классикалық электрохимия заңдарына аса бағынбайды, анықталған барлық заңдылықтар біртекті қатты электролиттер теориясы тұрғысынан қарастырылады. Осы электролит жағдайларымен қатты фазадан молибденді бөліп алу үлкен қолданысқа ие болатыны сөзсіз, мысалы: қатты құймалардың қалдықтарын қайта өңдеуде және биосенсорлар жасау өндірісінде қолданысқа ие болады.

Түйін сөздер: молибден, электрохимиялық қасиеті, диметилсульфоксид, қабыршақ, электрөткізгіштік, қабыршақ қылыңдығы.

| | |
|---------------------------------------|---|
| <i>Лейла Кадирсизовна Кудреева</i> | <i>Химия ғылымдарының кандидаты, қауымдастырылған профессор</i> |
| <i>Дүйсек Хайсағалиевич Камысбаев</i> | <i>Химия ғылымдарының докторы, профессор</i> |
| <i>Молдир Бакитжановна Абу</i> | <i>магистр, химик-ғылыми қызметкер</i> |
| <i>Алия Муратовна Сарсенбаева</i> | <i>докторант, химик-ғылыми қызметкер</i> |
| <i>Карина Аскарловна Исабекова</i> | <i>магистр</i> |

1. Кіріспе

Молибден мен олардың қосылыстары электртехникада, биосенсорлар жасауда, аэроғарыш саласында, машина жасау аспаптарында, химиялық машина жасауда және де басқа да көптеген салаларда кең қолданысқа ие [1]. Соңғы уақытта молибден мен оның қосылыстарын өндірісте және өнеркәсіпте биосенсорлар жасауда қарқынды қолданып келеді [2-20].

Әдебиеттердегі мәліметтерді талдай келе, молибденнің электрохимиялық күйі әртүрлі жағдайларға тәуелді тек сілті, қышқыл және нитратты ерітінділерде зерттелгені анықталды [1, 21-22]. Бірақ, LiCl сулы диметилсульфоксид (ДМСО) электролиттерінде молибденнің электрохимиялық тотығу процесі зерттелмеген. Сондықтан, жұмыста сулы диметилсульфоксидті LiCl ерітінділерінде молибденнің электрохимиялық еру реакциясына судың әсері зерттелді.

2. Зерттеу әдістері

Молибденің электрхимиялық тотығуын вольтамперлік қисықтарды түсіру әдісімен «Metrohm, Autolab, потенциостат-101» вольтамперометриялық қондырғысында термостатты үш электродты ұяшықта зерттелінді. Жұмысшы (анод) электрод ретінде тефлонға престеліп, тығындалған молибден өзектерінен құралған стационарлы электродтар қолданылды.

Көмекші электрод ретінде платина пластинкасын, ал салыстырмалы электрод ретінде қаныққан литий хлоридінің ДМСО ертіндісіне батырылған хлор-күмісті электроды пайдаланылды.

Әр эксперимент алдында қондырғылар өзінің эксплуатациялық міндеттеріне сай жұмысқа дайындалып отырылды.

Электрод поляризациясы электрхимиялық процестердің өту жағдайы мен жұмысшы электродының табиғатына байланысты 0.00 ден 2.0В потенциал аралығында жүргізілді.

3. Зерттеу нәтижелері мен талқылануы

Сулы-ДМСО ерітінділерінде анодтық еру процесінен кейін электрод беті электронды микроскоптық және рентгенспектрлік әдістермен зерттелді. Анодтық поляризация кезінде түзілген қабыршақтар құрамы және құрылысы әр текті болатыны анықталды. Оларда “кеуекті құрылысты” – куысты ерекше активті аймақтар болу мүмкін, олар “иондардың ерекше кинетикасымен” сипатталады, сондай-ақ электрод бетінде активті және пассивті аймақтар болу мүмкін [23-24].

Әртүрлі аймақта қабыршақ құрылысы біркелкі болмайтыны байқалды, сонымен қатар оны рентгенспектрлік талдау нәтижелерінен де көруге болады[1].

Рентгенспектрлік талдау нәтижелері 1-кестеде бейнеленген. Ақ дақтар кристалды құрылысты типтес беттік құрылымдар, сонымен қатар ақ дақ бар аймақтарда да хлор мөлшері жоғары болуын байқауға болады (1-кесте). Ақ дақтар молибденнің тұзды қосылыстарынан (мысалы, $MoCl_n$) тұратын қабыршақтар екені анықталды. Мұндай қосылыстардың болуы, Мо электроды бетінде коррозия процесі нәтижесінде қабыршақтар түзілетіні белгілі [1].

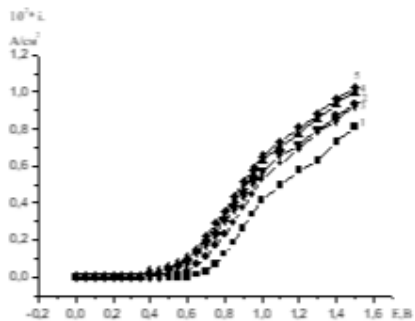
Кесте 1 - Молибденді ДМСО 2М LiCl ерітінділеріне 33моль/л су қатысында анодтық еру процесінен кейінгі рентгенспектрлік талдау нәтижелері.

| Элементтер мөлшері, % | | | | | | Жалпы құрамы, % |
|-----------------------|------|------|------|-------|------|--------------------|
| Na | Cl | K | Ca | Mo | O | |
| 0.24 | 2.64 | 0.94 | 0.29 | 89.18 | 4.7 | 99.9 |
| - | - | - | - | 93.82 | 6.18 | 100 |
| 0.32 | - | - | - | 92.81 | 6.87 | 100 |

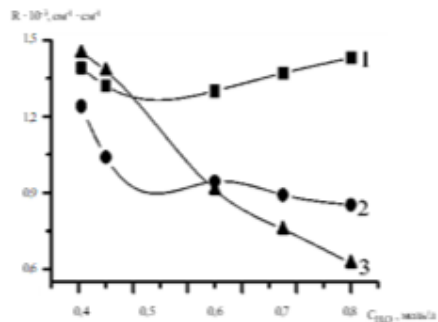
Микросуреттерден (кара дақтар) және рентгенспектрлік талдау қорытындыларынан молибден оксидтерінен тұратынын (оксидтер мөлшері жоғары) молибден қосылыстарының болуынан деп жобалаймыз. Электронды микроскоптық және рентгенспектрлік зерттеу нәтижелерінен (1-кесте) қабыршақтың құрамына келесі элементтер кіреді: молибден, хлор, оттегі. Молибден электродының бетін рентгенспектралды талдау нәтижесінен құрылысы әртекті, яғни оксидтік, тұздық, сонымен қатар еріткіштердің электрполимерлену нәтижесінде полимер табиғатты қабыршақтар түзілуі мүмкін екенін көруге болады.

LiCl әртүрлі концентрацияларында су-DMCO ерітінділерінің вольтамперлік қисықтары түсірілді. Қисықтардың пішіні сусыз DMCO ерітінділеріндегі молибденнің электрхимиялық поляризациялық қисықтары тәріздес болатынын көруге болады, бірақ су-DMCO ерітінділерінде ток тығыздығының мәні өте жоғары [1]. LiCl барлық концентрациясы үшін суды үстемелеп қосу молибденнің анодтық еруін ұлғайтады, ал LiCl концентрациясының әсері әртүрлі. Мысалы, 1-суретте 0.25M LiCl 0.1-10 моль/л суда шамамен 0,008-0,01 А/см², 0,5M LiCl 0,1-10 моль/л суда шамамен 0.011-0.014 А/см², ал 2 M LiCl 0.1-10 моль/л суда шамамен 0.065-0.25 А/см². Су концентрациясының өсуімен және 2 M LiCl ерітінділерінде молибденнің электрхимиялық еруі 0.25 M және 0.5 M LiCl-DMCO ерітінділерімен салыстырғанда жоғары болып табылады, 2-суреттегі DMCO LiCl, су концентрациясының кедергіге тәуелділігі қисығынан көруге болады. Оның себебі, молибденнің электрхимиялық еруіне аниондар әсерінің болуынан деп есептелді. Поляризациялық түзудің иілу бұрышы қабыршақтың кедергісі мен қалыңдығын сипаттайтыны бізге белгілі [1, 24-25]. Міне, осыған байланысты 2-суретте су концентрациясының кедергіге тәуелді графигі кескінделген. Су концентрациясының өсуімен кедергі заңды тұрғыда төмендейді, сонымен қатар 0.25 M және 2 M LiCl (DMCO) ерітінділерінде қабыршақтың өткізгіштігі өседі, яғни қабыршақтың кедергісі төмендейді. Мұны су және хлорид иондарының әсерінен және қабыршақтың бетінде MoO₂ және Mo₂O₅ қосылыстарының MoO₄²⁻ дейін тотығуынан деп түсіндіруге болады. 3-4 - суреттерінде судың әртүрлі концентрацияларында DMCO 0.25 M LiCl, молибденнің анодтық тотығуын өрнектейтін потенциалдың I_g арасындағы тәуелділік графигі кескінделген. Барлық I_g-E координаттарындағы графиктер түзу сызыққа біршама жақындағанын байқаймыз, мұндай кішкене бүгілістің болуы, поляризациялық қисықтарды түсіру барысында қабыршақтардың қалыңдығында өзгерістер болуы мүмкін. Кейін, поляризациялық қисықтарды түзу сызықты жағдай туындайтындай және қабыршақ қалыңдығын ескере отыратын жолмен өңделді, ол үшін интегралдап, яғни интегралдаған потенциалмен I_g арасындағы тәуелділік графигі су қатысуымен 0.25 M LiCl ерітінділерінде тұрғызылды (3-4 суреттер). Қисықтардан 0.8-1.6 В потенциалдар аралығындағы түзу сызықты аймақтарды айқын көруге болады (1, 3-4 суреттер). Әдебиеттерге [1]

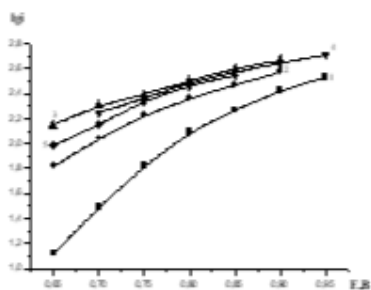
негіздей отырып, сол аймақтардан қабыршақтың қалыңдығы мен электр өткізгіштігі зерттелінді (5-6 суреттер).



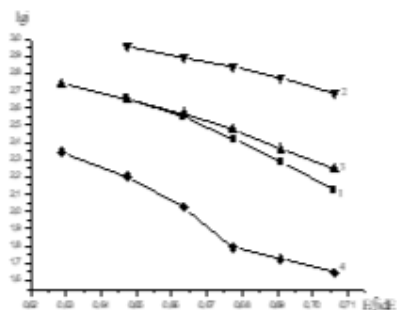
1- 0, 1; 2- 1; 3- 5; 4- 7,5; 5- 10 моль/л H₂O.
Сурет 1 - ДМСО 0,25M LiCl, 50мВ/с-та Mo
поляризациялық қисықтары



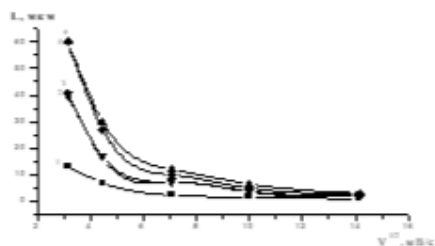
1 - 0,25; 2 - 0,5; 3 - 2M LiCl
Сурет 2 - ДМСО LiCl, су концентрациясының
кедергіге тәуелділігі



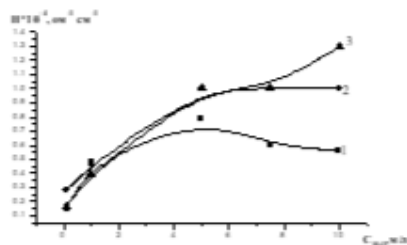
1-0, 1; 2- 1; 3- 5; 4- 7,5; 5- 10 моль/л H₂O
Сурет 3 - ДМСО 0,25M LiCl, Mo, E мен I_d
арасындағы тәуелділік графигі



1-0, 1; 2- 1; 3- 5; 4- 7,5; 5- 10 моль/л H₂O
Сурет 4 - ДМСО 0,25M LiCl, E/|dE| мен I_d
арасындағы тәуелділігі



0, 1; 2- 1; 3- 5; 4- 7,5; 5- 10 моль/л H₂O
Сурет 5 - ДМСО 0,25 M LiCl, потенциал берілу
жылдамдығына қабыршақтың қалыңдығының тәуелділігі

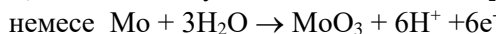
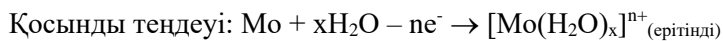


1-0,25, 2-0,5, 3-2M LiCl
Сурет 6 - Суың концентрациясына
электрөткізгіштіктің тәуелділігі

5 - суреттен потенциал берілу жылдамдығының өсуімен қабыршақтың қалыңдығы төмендейді, бұл құбылыс LiCl барлық концентрациясы үшін байқалады, себебі жоғары потенциал берілу жылдамдығында қабыршақтың қалыңдығы жұқа болады. 6 -суретте 0.25 М, 0.5 М және 2 М LiCl, 50 мВ/с, су концентрациясына электрөткізгіштіктің тәуелділік графигі көрсетілген. LiCl барлық концентрацияларында, судың концентрациясының өсуімен қабыршақтың қалыңдығы өседі. Қабыршақта электрөткізгіштігі жоғары ерекше аймақтар болуынан, қабыршақтың өткізгіштігі өседі.

Сонымен, LiCl барлық концентрацияларында суды үстемелеудің өсуімен өткізгіштік өседі, осы ерітінділерден құралған қабыршақ әрі қарай еруі мүмкін.

Молибденнің еру реакциясы сатылы тұрғыда жүзеге асады [1]:



4. Қорытынды

Молибден электродының электрхимиялық еру заңдылығын зерттеу нәтижесінде алынған мәліметтерді талдай келе, келесі қорытындыларды жасауға болады:

1. Молибден электродының электрхимиялық күйі классикалық электрхимия заңдарына аса бағынбайды, анықталған барлық заңдылықтар біртекті қатты электролиттер теориясы тұрғысынан қарастырылады.

2. Молибденнің электрхимиялық еру процесінен кейін де электрод бетінде қабыршақ болуын электронды микроскоптық және рентгенспектрлік талдау нәтижелерінің қорытындыларынан айтуға болады. Электрод бетінде түзілген қабыршақтың қалыңдығы, кедергісі және электр өткізгіштігі зерттелді.

3. Жоғарыда аталып кеткен электролиттерге су қатысуы молибденнің ерітіндіге өту процесін ұлғайтады, 0.25 М LiCl ДМСО ерітіндісі үшін судың қолайлы концентрациясы 38 моль/л H₂O болып табылды.

Қаржыландыру: Бұл зерттеу жұмысын Қазақстан Республикасы Ғылым және Жоғары Білім Министрлігінің Ғылым Комитеті қаржыландырады (Грант ИРН АР23490197).

Мүдделер қактығысы: авторлар бұл мақалада мүдделер қактығысының жоқтығын мәлімдейді.

ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МОЛИБДЕНА В ВОДНОМ РАСТВОРЕ ДИМЕТИСУЛЬФОКСИДА

Л.К. Кудреева, М.Б. Абу, А.М. Сарсенбаева, Д.Х. Камысбаев, К.А. Исабекова*
Казахский Национальный Университет имени Аль-Фараби, Алматы, Казахстан

*E-mail: Leila.Kudreyeva@kaznu.kz

Резюме. *Введение.* Молибден и его соединения широко используются в производстве и промышленности благодаря своим свойствам, таким как механическая прочность, термостойкость, высокая электропроводность, высокая температура плавления и электрохимическая каталитическая активность. Поэтому их переработка, несомненно, является весьма актуальной проблемой. Один из способов решения этой проблемы связан с использованием водно-органических растворов электролитов. *Цель работы:* определить закономерности электрохимического растворения молибдена в водных диметилсульфоксида растворах электролитов. *Метод исследования.* В работе использованы электрохимические (поляризационные измерения, электролиз), рентгеноспектральные анализы, микрофотографии, а также методы математического анализа. *Результаты и обсуждение.* Рассмотрено электрохимическое растворение молибдена в 0,25 М, 0,5 М, 2 М растворах LiCl в водном растворе диметилсульфоксида при различных скоростях развертки потенциала. Наличие воды в электролитах усиливает процесс перехода молибдена в раствор, подходящей концентрацией 0,25 М воды LiCl ДМСО оказалось 38 моль/л H₂O. При этих концентрациях электролита оценивали толщину пленки, образующейся на поверхности молибдена, определяли сопротивление толщины пленки, а также электропроводность пленки. *Заключение.* Электрохимические свойства молибденового электрода в водном растворе диметилсульфоксида не подчиняются законам классической электрохимии. Отделение молибдена от твердой фазы в таких электролитных условиях, несомненно, будет иметь большое применение, например, при переработке твердых отходов и производстве биосенсоров.

Ключевые слова: молибден, электрохимические свойства, диметилсульфоксид, пленки, электропроводность, толщина пленки.

Кудреева Лейла Кадирсизовна

ассоциированный профессор

Абу Молдир Бакитжановна

магистр, научный сотрудник

Сарсенбаева Алия Муратовна

докторант

Камысбаев Дуйсек Хайсагалиевич

доктор химических наук, профессор

Исабекова Карина Аскарровна

магистрант

References

1. Кудреева Л.К. Молибден мен вольфрамды электрхимиялық жолмен еріту Монография. Алматы: Қазақ университеті, **2020**. 180 б. <https://pps.kaznu.kz/ru/Main/FileShow2/223728/73/1/611/2020//>
2. Dhas N. et al. Molybdenum-based hetero-nanocomposites for cancer therapy, diagnosis and biosensing application: Current advancement and future breakthroughs. *J. Control. Release.*, **2021**, 330, 257–283. <https://doi.org/10.1016/j.jconrel.2020.12.015>.
3. Sobańska Z. et al. Biological effects of molybdenum compounds in nanosized forms under in vitro and in vivo conditions. *Int. J. Occup. Med. Environ. Health.*, **2020**, 33, No.1, 1–19. <https://doi.org/10.13075/ijomeh.1896.01411>
4. Guo Y., Li J. MoS₂ quantum dots: synthesis, properties and biological applications. *Mater. Sci. Eng. C. Elsevier B.V.*, **2020**, 109, 110511. <https://doi.org/10.1016/j.msec.2019.110511>
5. Kasinathan K. et al. Cyclodextrin functionalized multi-layered MoS₂ nanosheets and its biocidal activity against pathogenic bacteria and MCF-7 breast cancer cells: Synthesis, characterization and in-vitro biomedical evaluation. *J. Mol. Liq. Elsevier B.V.*, **2021**, 323, 114631. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2020.114631>
6. Vasudevan M. et al. Cellulose acetate-MoS₂ nanopetal hybrid: A highly sensitive and selective electrochemical aptasensor of Troponin I for the early diagnosis of Acute Myocardial Infarction. *J. Taiwan Inst. Chem. Eng. Elsevier B.V.*, **2021**, 000, No.1–9. <https://doi.org/10.1016/j.jtice.2021.01.016>
7. Zhao H. et al. Electrochemical immunosensor based on Au/Co-BDC/MoS₂ and DPCN/MoS₂ for the detection of cardiac troponin I. *Biosens. Bioelectron.*, **2021**, 175, 112883. <https://doi.org/10.1016/j.bios.2020.112883>

8. Jilil O., Pandey C.M., Kumar D. Highly sensitive electrochemical detection of cancer biomarker based on anti-EpCAM conjugated molybdenum disulfide grafted reduced graphene oxide nanohybrid. *Bioelectrochem. Elsevier B.V.*, **2021**, 138, 107733. <https://doi.org/10.1016/j.bioelechem.2020.107733>
9. Panneer Selvam S., Chinnadayala S.R., Cho S. Electrochemical nanobiosensor for early detection of rheumatoid arthritis biomarker: Anti- cyclic citrullinated peptide antibodies based on polyaniline (PANI)/MoS₂-modified screen-printed electrode with PANI-Au nanomatrix-based signal amplification. *Sensors Actuators B Chem. Elsevier B.V.*, **2021**, 333, 129570. <https://doi.org/10.1016/j.snb.2021.129570>
10. Lu J. et al. Molybdenum disulfide nanosheets: From exfoliation preparation to biosensing and cancer therapy applications. *Colloids Surfaces B: Biointerfaces.*, **2020**, 194, 1111162. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfb.2020.111162>
11. Liu C. et al. Fabrication of a novel nanocomposite electrode with ZnO-MoO₃ and biochar derived from mushroom biomaterials for the detection of acetaminophen in the presence of DA. *Microchem. J. Elsevier B.V.*, **2021**, 161, 105719. <https://doi.org/10.1016/j.microc.2020.105719>
12. Roy N., Yasmin S., Jeon S. Effective electrochemical detection of dopamine with highly active molybdenum oxide nanoparticles decorated on 2, 6 diaminopyridine/reduced graphene oxide. *Microchem. J.*, **2020**, 153, 104501. <https://doi.org/10.1016/j.microc.2019.104501>
13. Singh G., Kushwaha A., Sharma M. Electrochemistry of rGO-Cu₃H₂Mo₂O₁₀ cuboidal nanostructures: An effective detection of neurotransmitter dopamine in blood serum sample. *J. Electroanal. Chem. Elsevier B.V.*, **2021**, 880, 114889. <https://doi.org/10.1016/j.jelechem.2020.114889>
14. Mohamed Azharudeen A. et al. Selective enhancement of non-enzymatic glucose sensor by used PVP modified on α -MoO₃ nanomaterials. *Microchem. J.*, **2020**, 157, 105006. <https://doi.org/10.1016/j.microc.2020.105006>
15. Antoniazzi C. et al. Molybdenum trioxide incorporated in a carbon paste as a sensitive device for bisphenol A monitoring. *Microchem. J.*, **2020**, 159, 105528. <https://doi.org/10.1016/j.microc.2020.105528>
16. Cong Y. et al. Fabrication of electrochemically-modified BiVO₄-MoS₂-Co₃O₄ composite film for bisphenol A degradation. *J. Environ. Sci.*, **2021**, 102, 341–351. <https://doi.org/10.1016/j.jes.2020.09.027>
17. Hun X., Kong X. An enzyme linked aptamer photoelectrochemical biosensor for Tau-381 protein using AuNPs/MoSe₂ as sensing material. *J. Pharm. Biomed. Anal. Elsevier B.V.*, **2021**, 192, 113666. <https://doi.org/10.1016/j.jpba.2020.113666>
18. Lei P., Ayton S., Bush A.I. The essential elements of Alzheimer's disease. *J. Biol. Chem. Elsevier B.V.*, **2021**, 296, 100105. <https://doi.org/10.1074/jbc.rev120.008207>
19. Guo T. et al. Longitudinal Cognitive and Biomarker Measurements Support a Unidirectional Pathway in Alzheimer's Disease Pathophysiology. *Biol. Psychiatry. Elsevier Inc.*, **2021**, 89, No.8, 789-794. <https://doi.org/10.1016/j.biopsych.2020.06.029>
20. Schneider M., Šimůnková L., Michaelis A., Hoogsteen W. Electrochemical machining of molybdenum. *Int. J. of Refractory Metals and Hard Materials.*, **2021**, 101, 105689. <https://doi.org/10.1016/j.ijrmhm.2021.105689>
21. Kudreeva L.K., Kurbatov A.P., Kamysbayev D.Kh., Kalyeva A.R. Electrochemical Separation of Molybdenum and Tungsten Using Aqueous-Organic Electrolytes. *Eurasian Chem.-Technol. J.*, **2020**, 22, No.3, 227–233. <https://doi.org/10.18321/ectj980>
22. Vetter K.J., Gor F. The anodic oxide of in salts solutions. *J. Elektrochim.*, **1973**, 18, No.4, 321. [https://doi.org/10.1016/0013-4686\(73\)80036-2](https://doi.org/10.1016/0013-4686(73)80036-2)
23. Peled E., Yamin H. Solid electrolyte interphase electrodes Part. The kinetics of lithium in Li-AlCl₄-SOCl₂. *Isr. J Chem.*, **1979**, 18, No.1-2, 131-135. <https://doi.org/10.1002/ijch.197900016>
24. Курбатов А.П. Коррозионные процессы на литии в электролитах химических источников тока. *Дисс. Канд. Хим. Наук* [Corrosion processes on lithium in electrolytes of chemical current sources. Ph.D. chem. sci. diss.]. Алматы, КазГУ им. аль-Фараби., **1998**. 150 с. <https://fizmathim.com/korrozionnye-protsessy-na-litii-v-elektrolitah-himicheskikh-istochnikov-toka>