ХАЛЫҚАРАЛЫҚ ҒЫЛЫМИ-ПРАКТИКАЛЫҚ КОНФЕРЕНЦИЯ МАТЕРИАЛДАРЫ
Орталық Азия ғылымы мен білімі: цифрлық трансформация және тұрақты даму
2026 жылғы 18 желтоқсан · онлайн, Zoom · CASJ-2026
7-СЕКЦИЯ. ЖАС ЗЕРТТЕУШІЛЕР: СТУДЕНТТІК СЕКЦИЯ (БАКАЛАВРИАТ, МАГИСТРАТУРА)

DOI: https://doi.org/10.5281/zenodo.24536082

ӘОЖ 543.4:669.018.2:378.147

«ХИМИЯ ҒЫЛЫМДАРЫ САЛАСЫНДАҒЫ ҒЫЛЫМИ ЗЕРТТЕУЛЕРДІ ҰЙЫМДАСТЫРУ ЖӘНЕ ЖОСПАРЛАУ» ЖОО КУРСЫ ҮШІН КӨП КОМПОНЕНТТІ ЖЕҢІЛ БАЛҚИТЫН ҚОРЫТПАЛАРДЫ ЖІКТЕУ ТАЛДАУЫНДА ЛАЭС ӘДІСІН ҚОЛДАНУ

Г.Ж. Сабырбаева
Академик Е.А. Бөкетов атындағы Қарағанды ұлттық зерттеу университеті, Қарағанды, Қазақстан

Сабырбаева Гулнур Жусипбайқызы — Магистрант, Академик Е.А. Бөкетов атындағы Қарағанды ұлттық зерттеу университеті, Қарағанды, Қазақстан.

Ғылыми жетекші: Алдабергенова Сауле Кидирбаевна — химия ғылымдарының кандидаты, Бейорганикалық және техникалық химия кафедрасының қауымдастырылған профессоры, Академик Е.А. Бөкетов атындағы Қарағанды ұлттық зерттеу университет, Қарағанды, Қазақстан.

© Г.Ж. Сабырбаева, 2026

Аңдатпа: Бұл мақалада ЖОО-ның «Химия ғылымдары саласындағы ғылыми зерттеулерді ұйымдастыру және жоспарлау» курсы аясында Вуд (балқу температурасы Тб = 68,5 °С) және Розе (Тб = 94 °С) сияқты көп компонентті жеңіл балқитын қорытпаларды жіктеу талдауында Лазерлік акустикалық эмиссия (ЛАЭС) әдісін қолдану мәселелері қарастырылады. Зерттеу барысында толқын ұзындығы λ = 1064 нм неодим лазері (Nd:YAG) қолданылып, 20–1000 кГц жиілік диапазонындағы акустикалық эмиссия сигналдары сарапталды. Вуд қорытпасының құрамындағы кадмий АЭ сигналдарының негізгі жиілігін 450 кГц-тен 620 кГц-ке ығыстыратыны, ал сигнал амплитудасы Розе қорытпасына қарағанда жоғары екені (65–90 дБ және 40–70 дБ) көрсетілді. ЛАЭС әдісі үлгіні бұзбай, 2–3 минут ішінде қорытпаларды жіктеуге мүмкіндік береді, бұл дәстүрлі ДТА мен рентгеноструктуралық талдаумен салыстырғанда уақытты едәуір үнемдейді. Мақалада әдісті курстың зертханалық сабақтарына енгізу бойынша әдістемелік ұсыныстар берілген.

Түйін сөздер: химиялық зерттеулер, жеңіл балқитын қорытпалар, ЛАЭС әдісі, Вуд қорытпасы, Nd:YAG лазері, ғылыми жоспарлау.

Аннотация

В данной статье рассматриваются вопросы применения метода лазерной акустической эмиссии (ЛАЭС) в анализе классификации многокомпонентных легкоплавких сплавов (сплавы Вуда, Тпл = 68,5 °С, и Розе, Тпл = 94 °С) в рамках вузовского курса «Организация и планирование научных исследований в области химических наук». В ходе исследования использован неодимовый лазер Nd:YAG (длина волны λ = 1064 нм) и проанализированы сигналы акустической эмиссии в диапазоне частот 20–1000 кГц. Показано, что присутствие кадмия в сплаве Вуда смещает основную частоту сигналов АЭ с 450 до 620 кГц, а амплитуда сигналов у него выше, чем у сплава Розе (65–90 дБ против 40–70 дБ). Метод ЛАЭС позволяет без разрушения образца классифицировать сплавы за 2–3 минуты, что значительно сокращает время по сравнению с ДТА и рентгеноструктурным анализом. Предложены методические рекомендации по внедрению метода в лабораторные занятия курса.

Ключевые слова: химические исследования, легкоплавкие сплавы, метод ЛАЭС, сплав Вуда, лазер Nd:YAG, научное планирование.

Abstract

This article discusses the application of the laser acoustic emission (LAE) method in the classification analysis of multicomponent low-melting alloys (Wood's alloy, Tm = 68.5 °C, and Rose's alloy, Tm = 94 °C) within the framework of the university course "Organization and Planning of Scientific Research in the Field of Chemical Sciences". The study utilized an Nd:YAG neodymium laser (wavelength λ = 1064 nm) and analyzed acoustic emission signals in the 20–1000 kHz frequency range. The presence of cadmium in Wood's alloy was shown to shift the main AE frequency from 450 to 620 kHz, with higher signal amplitudes than in Rose's alloy (65–90 dB versus 40–70 dB). The LAE method allows non-destructive classification of the alloys within 2–3 minutes, considerably reducing analysis time compared with DTA and X-ray diffraction. Methodological recommendations for introducing the method into the course's laboratory classes are proposed.

Keywords: chemical research, low-melting alloys, LAE method, Wood's alloy, Nd:YAG laser, scientific planning.

Кіріспе

Қазіргі таңда жоғары білім беру жүйесінің алдында тұрған басты міндеттердің бірі – студенттердің ғылыми-зерттеушілік қабілеттерін шыңдау және оларды өндіріс пен ғылымның озық жетістіктерімен ұштастыру [1]. «Химия ғылымдары саласындағы ғылыми зерттеулерді ұйымдастыру және жоспарлау» курсы болашақ жас зерттеушілерге эксперимент жасаудың әдіснамасын үйретіп қана қоймай, күрделі жүйелерді жүйелі түрде талдауға жол ашады [1]. Химия ғылымында жаңа материалдарды, әсіресе балқу температурасы Тб < 300 °C құрайтын көп компонентті жеңіл балқитын қорытпаларды зерттеу мен жіктеудің маңызы ерекше [2]. Мұндай зерттеулердің өзектілігі неде? Неліктен дәстүрлі рентгеноструктуралық немесе термикалық дифференциалды талдау (ДТА) сияқты әдістер кейде үлгіні бұзу қаупіне немесе уақыт шығынына байланысты заманауи талаптарға толық жауап бере алмайды [3]? Бұл сұрақтардың жауабын іздеу арқылы біз лазерлік-акустикалық диагностика сияқты жаңашыл технологияларға бет бұрамыз.

Ғылыми әдебиеттерге шолу жасасақ, отандық және шетелдік ғалымдар Bi-Pb-Sn-Cd эвтектикалық жүйелерінің физика-химиялық қасиеттерін анықтау бағытында ауқымды еңбектер атқарғанын көреміз [4]. Дегенмен, оқу үдерісінде теория мен тәжірибені байланыстыратын тиімді әдістемелерді жетілдіру ісі әлі де маңызды мәселе күйінде қалып отыр [1]. Осы орайда, оқу үдерісіне ЛАЭС сияқты спектрометриялық модульдерді енгізу студенттердің танымдық белсенділігін арттырып, олардың кәсіби құзыреттілігін қалыптастыруға тікелей әсер етеді [1].

Әдістеме

Зерттеу барысында қолданылатын негізгі әдістемелік құрал ретінде Лазерлік акустикалық эмиссия (ЛАЭС) әдісі таңдап алынды [5]. Зерттеу нысаны ретінде төрт компонентті Вуд қорытпасы (50% Bi, 25% Pb, 12,5% Sn, 12,5% Cd; Тб = 68,5 °C) және үш компонентті Розе қорытпасы (50% Bi, 25% Pb, 25% Sn; Тб = 94 °C) алынды [6]. ЛАЭС әдісі материалдардың ішкі құрылымындағы өзгерістерді, фазалық ауысулар мен микроақауларды жоғары дәлдікпен анықтауға мүмкіндік беретін озық технология болып табылады [7]. Бұл әдістің ерекшелігі мен негізгі реттілігі қандай?

Әдістің жұмыс істеу принципі лазерлік сәулеленудің әсерінен материал бетінде немесе ішінде туындайтын серпінді толқындарды тіркеуге негізделген [5]. Эксперименттік қондырғы толқын ұзындығы λ = 1064 нм, импульс ұзақтығы τ = 10 нс болатын Nd:YAG лазерінен, пьезоэлектрлік датчиктерден (керамика PZT-19) және 20–1000 кГц жиілік диапазонында жұмыс істейтін цифрлық осциллографтан құралды. Вуд және Розе қорытпаларының әрқайсысында өлшеу 3 рет қайталанды; өлшеулер қалыпты жағдайда, бөлме температурасында жүргізілді, негізгі жиілікті анықтау қателігі ±1 кГц құрады. Оқу үдерісінде бұл әдісті қолдану келесі кезеңдерді қамтиды:1. Дайындық кезеңі: Вуд және Розе қорытпаларының металлографиялық шлифтерін (қалыңдығы 5 мм, диаметрі 20 мм) дайындау [6].2. Эксперименттік зерттеу кезеңі: лазерлік импульс тығыздығын E = 15–50

мДж/см² аралығында дозалап, түзілген АЭ-сигналдардың амплитудасын (40–90 дБ) тіркеу.3. Талдау және жіктеу кезеңі: OriginPro 2024 және MATLAB бағдарламалары арқылы алынған спектрлік деректерді өңдеу, қорытпалардың микроқұрылымдық фазаларын өзара салыстыру және жүйелеу.

Бұл білім беру бағдарламасындағы зертханалық жұмыстардың сапасын арттырып қана қоймай, студенттердің физикалық химия мен материалтану саласындағы теориялық білімдерін тәжірибе жүзінде бекітуге жол ашады [1].

Зерттеу нәтижелері және талдау

Зерттеу барысында ЛАЭС әдісін Вуд және Розе жеңіл балқитын қорытпаларының құрамы мен ішкі деформацияларын жіктеуде қолданудың негізгі физика-химиялық және эксперименттік көрсеткіштері жүйеленіп, 1-кестеде ұсынылды.

1-кесте. ЛАЭС әдісі арқылы Вуд және Розе қорытпаларын жіктеудің салыстырмалы зерттеу көрсеткіштері (автордың эксперименттік деректері)

Зерттеу параметрі / Көрсеткіші	Вуд қорытпасы	Розе қорытпасы	Талдау нәтижесі және маңызы
Химиялық құрамы (массалық %)	50% Bi, 25% Pb, 12,5% Sn, 12,5% Cd	50% Bi, 25% Pb, 25% Sn	Кадмийдің болуы фазалық ауысуға және АЭ жиілігіне тікелей әсер етеді [6].
Балқу температурасы (Тб)	68,5 °C	94,0 °C	Термомеханикалық тұрақтылық шегін анықтайды [2, 6].
АЭ сигналдарының жиілігі	620 кГц (негізгі пик)	450 кГц (негізгі пик)	Cd қосылысы жиілік спектрін 170 кГц-ке жоғары ығыстырады.
АЭ амплитудалық диапазоны	65 – 90 дБ	40 – 70 дБ	Вуд қорытпасындағы микрокернеулердің жоғары деңгейін көрсетеді.
Лазерлік әсер беру тығыздығы (E)	15 – 35 мДж/см²	20 – 50 мДж/см²	Үлгі бетін бұзбай акустикалық толқын тудырудың оңтайлы режимі.

Зерттеу нәтижелерінің түйінді қорытындысы

Эксперименттік және теориялық сараптама негізінде алынған зерттеу нәтижелері келесідей негізгі тұжырымдармен түйінделеді:

1. Құрамындағы кадмий (Cd) элементінің спектрлік индикаторлығы: Төрт компонентті Вуд қорытпасында Cd элементінің болуы акустикалық эмиссияның резонанстық жиілігін Розе қорытпасымен салыстырғанда 450 кГц-тен 620 кГц-ке дейін (170 кГц-ке) айқын жоғарылататыны анықталды. Бұл ЛАЭС әдісін эвтектикалық қорытпалардың құрамын химиялық бұзбай-ақ жедел жіктеуге болатынын дәлелдейді [7].

2. Микрокернеулер мен амплитудалық дифференциация: Вуд қорытпасының кристалдық торындағы термомеханикалық кернеулердің амплитудасы (65–90 дБ) Розе қорытпасына (40–70 дБ) қарағанда жоғары екені тіркелді. Бұл көрсеткіш материалдардың беріктік шегі мен фазалық тұрақтылығын алдын ала болжауға мүмкіндік береді [2].

3. Зертханалық экспресс-диагностиканың тиімділігі: Nd:YAG лазерінің тығыздығы E = 15–50 мДж/см² диапазонында импульс беру арқылы 2-3 минут ішінде үлгі құрылымы туралы

нақты дерек алуға қол жеткізілді. Бұл дәстүрлі ДТА немесе рентгеноструктуралық талдаумен салыстырғанда уақыт шығынын 80%-ға дейін үнемдейді [3].

Практикада қолдану

Ұсынылып отырған ЛАЭС әдісін ЖОО қабырғасындағы арнайы зертханалық сабақтар мен студенттердің ғылыми-зерттеу жобаларында нақты қолданудың маңызы зор [1]. Оқу процесі барысында бұл әдіс арқылы студенттер Вуд және Розе қорытпаларының кристалдық торларындағы термомеханикалық кернеулерді салыстырмалы түрде сараптайды [2]. Зертханалық жұмыс барысында студенттер Вуд қорытпасындағы кадмийдің (Cd) АЭ-сигнал жиілігін 450 кГц-тен 620 кГц-ке дейін ығыстыратынына өз тәжірибесінде көз жеткізе алады (1-кестені қараңыз).

Практикалық сабақтар кезінде білім алушылар өз бетінше эксперимент жоспарлап, 0,01 мс уақыт аралығындағы сигналдарға спектрлік Фурье-талдау жасайды [5]. Аталмыш әдісті қолданудың басты артықшылықтарына оның жоғары сезімталдығы (деформация дәрежесі 10^{-6} кезіндегі микрожарықшақтарды сезеді), үлгіні бұзбай зерттеу мүмкіндігі (бұзбайтын бақылау) және өлшеу жылдамдығы (нәтиже 2-3 минутта дайын болады) жатады [7]. Дегенмен, кейбір кемшіліктер ретінде Nd:YAG лазерлік қондырғысының жоғары техникалық күрделілігін және студенттерден лазерлік қауіпсіздік бойынша арнайы нұсқамадан өтуді талап ететіндігін атап өтуге болады [8]. Бұл қиындықтар оқытушының жетекшілігімен жүйелі түрде жүргізілген дайындық жұмыстары арқылы толықтай шешіледі [1].

Ұсыныстар

Әдістемені оқу процесіне және ғылыми зерттеу жұмыстарын ұйымдастыруға сәтті енгізу үшін келесі тәжірибелік ұсыныстарға назар аудару қажет:• Оқытушыларға арналған әдістемелік нұсқаулықтарды жасау: ЛАЭС әдісін қолдану бойынша 1064 нм инфрақызыл сәулеленумен жұмыс істеудің қауіпсіздік техникасы (ГОСТ 12.1.040-83) мен PZT датчиктерін калибрлеу ережелерін нақты көрсететін қосымша материалдар әзірлеу қажет [8].• Студенттердің топтық жұмысын ұйымдастыру: 3-4 студенттен тұратын кіші топтарға бөліп, экспериментті кезең-кезеңімен (үлгі дайындау, лазерлік зондтау, АЭ-сигналды тіркеу) орындауға жағдай жасау маңызды [9].• Нәтижелерді бағалау жүйесін жетілдіру: Алынған АЭ-сигналдарды сараптау кезінде OriginPro 2024 және MATLAB бағдарламалық қамтамасыз етулерін кеңінен пайдалану ұсынылады.

Бұл ұсыныстар педагогтердің практикалық қызметінің тиімділігін арттырып, білім алушылардың инженерлік-техникалық ойлау қабілетін дамытуға үлес қосады [9].

Қорытынды

Сонымен, «Химия ғылымдары саласындағы ғылыми зерттеулерді ұйымдастыру және жоспарлау» курсы аясында көп компонентті жеңіл балқитын қорытпаларды (Вуд, Розе) жіктеу талдауында ЛАЭС әдісін қолдану зертханалық оқытудың сапасын арттырудың нақты әрі тиімді жолы болып табылады [1]. Бұл зерттеу жұмысы арқылы біз Nd:YAG лазерін пайдаланудың жоғары дәлдігі мен теориялық білімді өндірістік тәжірибемен байланыстырудың тиімді жолдарын көрсеттік [5]. Алынған 20–1000 кГц жиілік диапазонындағы спектрлік нәтижелер болашақ мамандардың кәсіби деңгейін көтеріп қана қоймай, отандық химия ғылымының әдіснамалық базасын жаңа сапалы деңгейге көтеруге септігін тигізеді [4]. Ғылыми зерттеулерді дұрыс жоспарлау мен озық әдістерді оқу үдерісіне енгізу болашақ химик-зерттеушілерді даярлау сапасына тікелей ықпал етеді [1].

Қолданылған деректер тізімі

1. Жұмадилова Г.Т., Садықов Б.Н. ЖОО-да химиялық пәндерді оқытуда ғылыми зерттеулерді ұйымдастыру және жоспарлау. // Қазақстан жоғары мектебі. – 2022. – №3. – Б. 54-61.

2. Ахметов К.С., Оспанова Г.Б. Көп компонентті қорытпалардың физика-химиялық қасиеттері. // Қазақстанның химия журналы. – 2024. – №2. – Б. 45-52.

3. Васильев В.П. Физико-химические методы анализа. – Москва: Юрайт, 2022. – 310 с.

4. Сейітов Ғ.Ж., Мұхамеджанова А.К. Көп компонентті жеңіл балқитын эвтектикалық жүйелерді термографиялық талдау. // Вестник КазНУ. Серия химическая. – 2023. – №1(108). – Б. 12-19.

5. Scruby C.B., Drain L.E. Laser Ultrasonics: Techniques and Applications. – Bristol: Adam Hilger, 1990. – 447 p.

6. Иванов А.П., Петров И.М. Металлография и физика фазовых превращений легкоплавких систем. – Санкт-Петербург: Лань, 2020. – 264 с.

7. Grosse C.U., Ohtsu M., Aggelis D.G., Shiotani T. (eds.) Acoustic Emission Testing: Basics for Research – Applications in Engineering. 2nd ed. – Cham: Springer, 2022.

8. ГОСТ 12.1.040-83. Система стандартов безопасности труда. Лазерная безопасность. Общие положения. – М.: Издательство стандартов, 1983.

9. Қасымова Ә.С. Студенттердің ғылыми-зерттеу жұмыстарын ұйымдастырудың инновациялық формалары. // Педагогика және психология. – 2023. – №2(55). – Б. 95-102.