

## **МЕТОДИ ЗАПОБІГАННЯ РУЙНУВАННЯ ТЕРМОКАТОДІВ НА ОСНОВІ КЕРАМІКИ**

*Ігор Олександрович Мамчур*

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9957-5685>

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Дніпро

*Стелла Ігорівна Мамчур*

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8146-8849>

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Дніпро

### **Вступ**

Властивості термокатодних пристроїв залежать від матеріалів та технології їх виготовлення. Багато робіт присвячено дослідженню вибору матеріалу емітера. Одним з найкращих вважається гексаборид лантану, який можна отримувати за допомогою різних технологічних засобів. При цьому відбувається зміна властивостей і відповідно робочих характеристик термокатоду [1]. У зв'язку з цим підвищення емісійних властивостей лантану можливий за допомогою дослідження зразків, отриманих різними засобами. Дослідженнями встановлено що стійкість структури визначається міцністю зв'язків між атомами бору, яка підрозділяється на зв'язки В-В в октаедри і між октаедрами.

### **ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ**

Метою роботи було дослідження зразків гексабориду лантану, отриманого методами порошкової металургії, напиленням, отриманням монокристалів та виявлення впливу на емісійні властивості гексабориду лантану, розміру зерна, вмісту домішок, пористості.

### **МАТЕРІАЛИ І МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ**

Матеріалом дослідження був гексаборид лантану отриманий різними засобами. Дослідження діаграми стану лантан-бор вказують що мають місце з'єднання, які конгруентно плавляться - гексаборид лантану з областю гомогенності у сторону бору (до 88 ат. %) і тетраборид лантану який утворюється за перитектичної реакції.

Методом високотемпературної рентгенографії встановлювались зміни характеристичної температури гексабориду лантану з підвищенням температури та встановлювалась температурна залежність

коефіцієнтів термічного розширення гексабориду лантану. Досліджувалось руйнування катодів з  $\text{LaB}_6$ [2].

## РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Експериментальні значення роботи виходу для полікристалічних і монокристалічних зразків мають відмінності. У межах полікристалічної технології значення роботи виходу гексаборида лантану змінюється в інтервалі 2.66 - 4.0 е.В. В якості основних причин цих коливань дослідники вказують на наявність домішок, суттєві області гомогенності та неоднорідність емісійної поверхні. В монокристалічному гексабориді лантану має місце анізотропія термоемісійних властивостей. На основі даних вивчення структури чистих поверхонь граней монокристалічного гексабориду лантана побудована модель розташування атомів лантана і бора на різних гранях[3]. Поверхня (001) за кімнатною та підвищеною температурах завершується шаром атомів лантану, який віддалений від шару "ідеальної" решітки на відстані 0.208 нм. Така площина має мінімальну роботу виходу у зв'язку з наявністю дипольного моменту, який створюють іони лантану[4]. На площині (110) атоми лантану знаходяться на відстані 0.166 нм від "ідеальної" решітки. Таке ж розташування мають октаедричні комплекси атомів бору, але тут вклад дипольного моменту у роботу виходу повинен бути незначним. Поверхня (111) може закінчуватись шаром атомів лантану або бору віддалених один від одного на відстані 0.12 нм.

Методом високотемпературної рентгенографії встановлено законмірне зменшення характеристичної температури гексаборида лантану із збільшенням температури. Термічний коефіцієнт опору не залежить від способів отримання гексаборида лантану. Мікротвердість гексаборида лантану складає 27.6 - 32.5 Па. За схемою консольного навантаження для гарячепресованого гексаборида лантану визначена межа міцності на вигін - 126 МПа за щільності 97%, а з підвищенням пористості до 20% вона знижується до 85 - 96 МПа. Залежність більшості фізико-хімічних властивостей гексаборида лантану від вмісту домішок, пористості, зернистості, слідує вказати що велике розмаїття способів отримання може призводити до зміни його основних властивостей. З усіх різновидів технології виготовлення катодних пристроїв, найвідповідальнішою операцією є отримання вихідного порошку. Найпоширенішим методом отримання порошку є відновлення оксида лантану або суміші оксида лантану і бору з вуглецем, бором, карбидом бору. Відмічається велике забруднення продукту вуглецем і його вплив на робочі характеристики гексабориду лантану. Для

запобігання забруднення використовують методи очищення його від вуглецю: введення надлишку оксиду лантану, який відповідає кількості вільного вуглецю в карбиді бору; введення суміші надлишкового оксиду лантану з деякою кількістю аморфного бору для зв'язування вільного лантану в гексабориди; введення борного ангідриду[5].

Досліджені в роботі зразки термокатоду, який складається з гексабориду лантану та ніобію з'єднувались за допомогою дифузійного зварювання у вакуумі через проміжний прошарок. На деяких зразках відбувалось руйнування на повітрі через декілька місяців після виготовлення. Цей вид руйнування називається "гексаборидна чума", його пов'язують з наявністю вуглецю[6]. Такий вид руйнування спостерігається у катодах виготовлених спіканням, плазменним напиленням, гарячим пресуванням та зонним плавленням. Вуглець може потрапляти в шихту на різних етапах отримання порошку, гранул або формування. Він може утворювати з'єднання з лантаном - дикарбид лантану. Це з'єднання на повітрі гідролізується з утворенням оксиду лантану і вуглеводню. В результаті зміни хімічних зв'язків і типу кристалічної решітки відбувається руйнування катодів у місці скупчення карбидів. На основі термодинамічних розрахунків доведено, що можливо утворення борокарбида лантану, який на повітрі легко гідролізується з утворенням оксиду лантану і складних органічних з'єднань. Утворення дикарбида лантану зафіксовано за відносно низьких температур, яке відбувається після синтезу порошку гексабориду лантану за рахунок боротермічного відновлення оксиду лантану в присутності сажі, або після відпалу порошку гексаборида лантану з недостатністю за бором в графітових контейнерах. Оскільки дикарбид є термічностійким, від нього немає можливості позбавитись навіть за високотемпературного відпалу. Руйнування відбуваються у зв'язку з розташуванням карбида лантану по межах зерен. Також руйнуються вироби спечені з гексаборида лантану технічної чистоти з підвищеним вмістом кисню. В цих порошках знайдені домішкові фази типу оксиду лантану. Використання бар'єрних прошарків між гексаборидом лантану і ніобієм зупиняє руйнування. Характер руйнування катодів визначається будовою дифузійних зон та їх протяжністю. Запропоновано використання титану в якості проміжного шару між еміттером і струмопідводом. До підвищення термостійкості зварного з'єднання у якому дифузійна зона менш насичена лантаном і шар тетрабориду лантана стає тонкішим. Тобто введення проміжного прошарку з титану обмежує дифузію лантану і зростання тетраборидного слою. Ресурс роботи для катодних пристроїв з проміжним прошарком титану складає 50 термоциклів.

## ВИСНОВКИ

На основі проведених досліджень встановлено вплив фазового складу на термостійкість катоду. Це пов'язано з дифузією бору у проміжний прошарок з титану і утворенням слою тетрабориду. Термостійкість зварного з'єднання вища, якщо дифузійна зона менш насичена лантаном. Результати досліджень свідчать, що в основі руйнування катоду отриманого ДЗВ з гексабориду лантану з ніобієм через проміжний прошарок лежить первинна дифузія бору з гексабориду лантану в проміжний прошарок. В результаті утворюється шар тетрабориду лантану, що призводить до утворення слоїв насичених лантаном, які є центрами наступного руйнування. Таким чином, в основі підвищення надійності катодів, полягають технологічні засоби які обмежують дифузію бору під час зварювання і експлуатації за рахунок використання проміжних прошарків.

## ПОСИЛАННЯ

1. Дифузійне зварювання у вакуумі жароміцного сплаву на нікелевій основі / Л.В. Петрушинець та ін. // Технічні науки та технології. - 2017. - № 3 (9). - С. 63–71. <https://ir.stu.cn.ua/123456789/15789>
2. Дифузійне зварювання з керованим напружено-деформованим станом і модифікування поверхонь з'єднання / Квасницький В.В. автореферат дис. ... канд.техн. наук. 2010. 15 с. <https://ela.kpi.ua/handl/123456789/1297>
3. Дифузійне зварювання у вакуумі жароміцного сплаву на нікелевій основі / Л.В. Петрушинець та ін. // Технічні науки та технології. - 2017. - № 3 (9). - С. 63–71. <https://ir.stu.cn.ua/123456789/15789>
4. Вплив параметрів зварювання на робочі характеристики термокатодів / Санін А.Ф., Джур Є.О., Мамчур С.І., Носова Т.В. // Вісник ДНУ. Дніпро. Ліра. №1. 2020. С.51-55. DOI: 10.15421/452012
5. Шляхи підвищення продуктивності процесу дифузійного зварювання у вакуумі - [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <https://cyberleninka.ru/article/n/puti-povysheniya-pr>
6. Дослідження фазового складу та протяжності дифузійних слоїв з'єднання LaB<sub>6</sub>-Zr-Nb / Санін А.Ф., Мамчур І.О. // IV Міжнародна конференція «Інноваційні технології в науці та освіті. Європейський досвід». - м. Гельсінкі, Фінляндія, 2021. – С. 164-167.