

УДК 621.923

В.І. Лавріненко, д.т.н., пров. наук. співр.

ІНМ ім. В.М. Бакуля НАН України

Л.А. Проц, пров. інж.

ІЕФ НАН України

ДОСЛІДЖЕННЯ ОСОБЛИВОСТЕЙ ПРОЦЕСУ РОЗРІЗАННЯ МОНОКРИСТАЛІВ ТЕТРАБОРАТУ ЛІТІЮ ТА ПАРАТЕЛУРИТУ, ВИРОЩЕНИХ МЕТОДОМ ВИТЯГУВАННЯ З РОЗПЛАВУ

Вивчені особливості процесу розрізання монокристалів з тетраборату літію та парателуриту, вирощених методом витягування з розплаву. Показано, що операція розрізання є базовою в процесі якісної обробки монокристалів. Сформульовані рекомендації щодо підвищення показників процесу їх якісного розрізання.

Актуальність проблеми. Одним з пріоритетних напрямів розвитку науки і техніки України на період з 2002 до 2006 рр., затверджених Постановою Кабінету Міністрів України № 1716 від 24.12.2001 р., є розроблення технологій отримання нових перспективних матеріалів для атомної енергетики, ядерної медицини та діагностичної літератури, матеріалів функціональної електроніки, а зумовлюється це важливістю забезпечення необхідних для зростання національного валового продукту темпів розвитку промисловості України. Наведене свідчить про те, що в Україні виникла, а в найближчий період вона ще більше загостриться, нагальна проблема, обумовлена необхідністю у якісній обробці нових ефективних, але важкооброблюваних матеріалів, до яких відносяться кисеньвміщуючі монокристали.

Аналіз тенденцій розвитку сучасної функціональної електроніки вказує на суттєве зростання ролі кристалічних матеріалів, що обумовлює неперервне розширення робіт з пошуку методів одержання матеріалів з заданими властивостями. Слід зауважити, що, незважаючи на велику кількість подібних досліджень в Україні та за кордоном, вони виконуються із застосуванням різних технологічних режимів та обладнання. Такі розробки особливо актуальні для напівпровідникового матеріалознавства, де незначні відмінності у технології одержання призводять до суттєвих відмінностей у кінцевих результатах. Серед великої кількості ефективних матеріалів, синтезованих та досліджених останнім часом, широко відомими є оксидні сполуки, в основному у вигляді монокристалів, такі як

парателурит (TeO_2), класичний акустооптичний матеріал, на основі якого розроблена низка акустооптичних приладів і пристроїв, та тетраборат літію ($\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7$) – новий монокристал з великою п'єзоелектричною константою та перспективою застосування у пристроях з поверхневими акустичними хвилями, генераторах лазерів, термостабільних приладах, тензодатчиках, у вигляді легованої пресованої кераміки для термолюмінісентної дозиметрії нейтронного та γ -випромінювання.

Особливість технологічних процесів механічної обробки виробів з монокристалів парателуриту та тетраборату літію, отриманих методом витягування з розплаву, полягає у складності використання традиційних процесів обробки та інструментів, що пояснюється специфічними фізико-механічними властивостями матеріалів та особливостями формування їх внутрішньої будови, що якраз і не дозволяє повною мірою використовувати їх функціональні якості і добитися зменшення собівартості виготовлення робочих елементів з таких матеріалів [1]. Для України, яка володіє можливостями випуску монокристалів парателуриту та тетраборату літію, вирішення проблеми якісної та продуктивної механічної обробки з них оптичних виробів є важливим, а проведення робіт з вивчення особливостей формування якісної поверхні виробів з монокристалів TeO_2 та $\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7$, одержаних методом витягування з розплаву, є актуальним завданням.

Мета роботи полягала у розробці таких умов процесів розрізання для крихких монокристалів парателуриту та тетраборату літію, які б дозволили досягти формування їх бездефектних поверхонь за рахунок створення спеціального інструменту для розрізання та вибору таких режимів різання, які б враховували умови розрізання, охолодження, фізико-механічні властивості монокристалів та їх геометричні розміри: діаметр і товщину монокристалічного зливка та вимоги до якості поверхонь виробів.

Основні результати роботи та їх обговорення. Для отримання конкретних виробів з монокристалів із метою їх використання у промисловості необхідно є додаткова обробка поверхонь таких виробів. Технологія виготовлення оптичних деталей побудована на поступовій зміні багатьох перехідних процесів від розрізання до шліфування та доведення (полірування). Монокристали з парателуриту та тетраборату літію є чуттєвими до механічної обробки, тому кожна операція повинна бути виконана якісно, оскільки технологічна спадковість на таких матеріалах є надзвичайно високою.

Розрізання – одна з базових операцій механічної обробки при виготовленні оптичних виробів з напівпровідникових матеріалів.

Переважно неметалічні вироби розрізають алмазними відрізними кругами з зовнішньою (1A1R) та внутрішньою (АКВР) різальними кромками, стрічковими пилками, алмазним дротом та ін. Переважно розрізання напівпровідникового матеріалу в більшості випадків виконується кругами з внутрішньою різальною кромкою, які вирізняються високою продуктивністю і є економічним та універсальним інструментом для багатьох матеріалів. Але дослідження, а також практика використання кругів АКВР [2] засвідчили, що підхід до вибору різального інструмента при механічній обробці різноманітних твердих матеріалів має бути диференційованим, тому що від конструкції різальної кромки, характеристики алмазоносного шару, зарощування алмазного зерна матеріалом зв'язки залежать ширина пропилу, продуктивність і точність різання, якість поверхонь, що піддаються обробці, та стійкість інструмента.

Наші дослідження засвідчили, що застосування 1A1R та АКВР із зв'язаним абразивом для розрізання монокристалів парателуриту та тетраборату літію недоцільно через жорстку фіксацію на різальному елементі абразивного матеріалу. В процесі розрізання переважно внаслідок підвищених теплових явищ та перегріву монокристалічні заготовки парателуриту та тетраборату літію розтріскувалися.

Вкажемо, що, як засвідчили наші дослідження, для обробки монокристалів парателуриту та тетраборату літію швидкість різання, швидкість подачі, зусилля притиску мають бути значно меншими, аніж, наприклад, для монокристалів з оксиду алюмінію. Тому більш доцільним для досягнення нашої мети є використання різального елемента, виготовленого у вигляді пластини з різальною торцевою поверхнею. На торцеву поверхню різального елемента при його зворотно-поступальному русі подавали абразивний матеріал у вигляді порошку, зваженого в рідині, наприклад, у воді. Зразок, який розрізали, переміщували до контакту з торцевою поверхнею різального елемента. За рахунок того, що до торцевої поверхні надається абразивна суспензія, в простір між різальним елементом та зразком попадали частинки абразиву, які руйнували матеріал зразка, в результаті чого відбувалось різання. Нашими дослідженнями встановлено, що саме такий різальний елемент дає змогу ефективно розрізати зразки з крихких монокристалів. Але, нерівномірність подачі абразивної суспензії в зону різання призводить до надмірної втрати абразивного матеріалу, зменшення інтенсивності розрізання та збільшення тиску на монокристалічний зразок.

В результаті досліджень процесів розрізання нами запропонований різальний елемент, виготовлений у вигляді тришарової пластини, причому в середньому шарі з боку торцевої різальної поверхні зроблені продовгуваті вирізи, а зовнішні шари мають отвори, які перекриваються з вирізами середнього шару. За рахунок того, що різальний елемент виготовлений тришаровим, причому в кожному із шарів є отвори або вирізи, які частково перекриваються, абразивна суспензія має змогу переміщатися через утворені отворами та вирізами порожнини в різальному елементі в зону різання, що зменшує непродуктивні витрати абразиву за рахунок більш рівномірної подачі абразивного матеріалу в зону різання.

Працює різальний елемент таким чином. На бокову поверхню та на різальний торець різального елемента наносять абразивну суспензію, надають різальному елементу зворотньо-поступальний рух, після чого переміщують зразок до контакту з торцем різального елемента та продовжують подачу зразка до розрізання його на необхідну глибину. Абразивний матеріал подається в зону різання як по поверхні різальних шарів різального елемента, так і по порожнинах, утворених вирізами в середньому шарі різального елемента та отворами в бокових шарах різального елемента.

Різальний елемент виготовлявся нами із сталених смужок з товщиною шарів по 0,1 мм. Сумарна товщина різального елемента 0,3 мм, ширина 18,0 мм, довжина 200 мм. Бокові шари прикріплювалися до середнього шару припоем під пресом. Застосовуючи розроблений нами різальний елемент, були проведені процеси різання монокристалів парателуриту та тетраборату літію циліндричної форми з діаметрами поперечного перерізу 30,0 мм та 20,0 мм відповідно. За абразивний матеріал застосовували корундовий порошок М 28, перемішаний із мастильно-охолоджувальною рідиною (МОР). Витрати порошку при цьому склали 4,5 г та 3,8 г відповідно. Вкажемо, наприклад, що при використанні різального елемента, виготовленого із суцільної сталеної смужки, що використовувалася раніше до наших досліджень, товщиною 0,3 мм, для розрізання монокристалу парателуриту діаметром 30,0 мм витрати абразивного матеріалу склали 8,0 г.

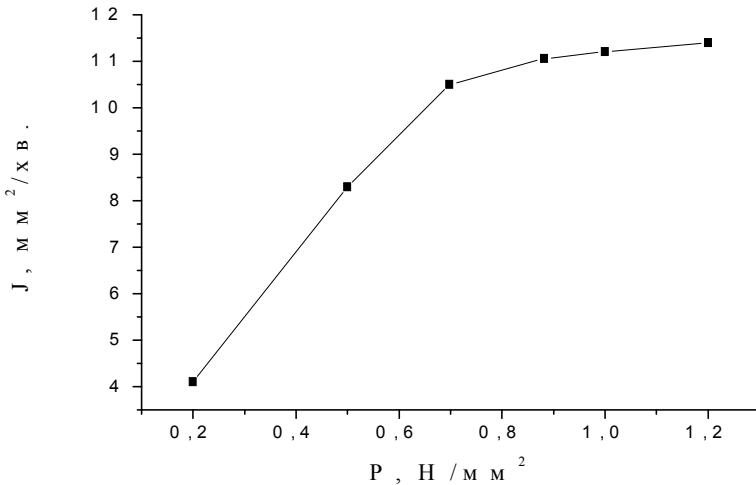


Рис. 1. Залежність інтенсивності розрізання монокристалів парателуриту від тиску в зоні різання

Встановлено, що різання доцільно проводити при середній швидкості відносного переміщення різального елемента від 12 до 18,0 м/хв. При цьому, із зростанням тиску у зоні різання величина інтенсивності розрізання спочатку досить відчутно зростає, а при перевищенні тиску за 0,5 Н/мм² таке зростання майже припиняється, що вказує на витіснення абразиву з зони різання. Результати дослідів по розрізанню монокристалів парателуриту зображені графічно на рис. 1.

Встановлено, що при подальшому збільшенні тиску за 1,9 Н/мм² близько 30 % монокристалів парателуриту безповоротно руйнуються при різанні.

В процесі досліджень встановлені оптимальні режими розрізання для монокристалів парателуриту: максимальна швидкість відносного переміщення різального елемента близько 25 м/хв.; тиск в зоні різання повинен бути в межах 0,3 – 0,6 Н/мм². За таких умов інтенсивність розрізання складає від 5,5 мм²/хв до 10,5 мм²/хв.

Встановлено, що розрізання монокристалів тетраборату літію доцільно проводити при середній швидкості відносного переміщення різального елемента від 12 до 18,0 м/хв. При цьому, із зростанням тиску у зоні різання величина інтенсивності розрізання також, як і для монокристалів парателуриту, спочатку досить відчутно зростає, а при перевищенні тиску в цьому випадку за 0,9 Н/мм² таке зростання майже

припиняється, що, як вже вказано вище, вказує на витіснення абразиву з зони різання. Результати дослідів по розрізанню монокристалів тетраборату літію зображені графічно на рис. 2.

Встановлено, що при подальшому збільшенні тиску за $1,6 \text{ Н/мм}^2$ також близько 30 % монокристалів тетраборату літію безповоротно руйнуються при різанні.

Дослідженнями процесів розрізання монокристалів тетраборату літію встановлені оптимальні режими: максимальна швидкість відносного переміщення різального елемента до 25 м/хв. ; тиск в зоні різання лежить у межах від $0,4 \text{ Н/мм}^2$ до $0,7 \text{ Н/мм}^2$; інтенсивність різання від $3,5 \text{ мм}^2/\text{хв.}$ до $6,5 \text{ мм}^2/\text{хв.}$ Результати дослідів за показниками працездатності процесу розрізання крихких монокристалів наведених розмірів із застосуванням методу, що раніше використовувався, та запропонованого нами методу різання наведені в таблиці.

Таблиця

Показники працездатності процесу розрізання крихких монокристалів парателуриту та тетраборату літію при порівнянні розробленого і традиційного процесу

№ з/п	Монокристали	P, Н/мм ²	Витрати абразивного матеріалу, г/см ² .		Інтенсивність операції різання, мм ² /хв.		Час розрізання, хв.	
			раніше	зараз	раніше	зараз	раніше	зараз
1	Парателурит, діаметром 30 мм	0,5	1,1	0,6	4,5	11,2	155	88
2	Тетраборат літію, діаметром 20 мм	0,6	2,5	1,3	4,8	9,3	66	50

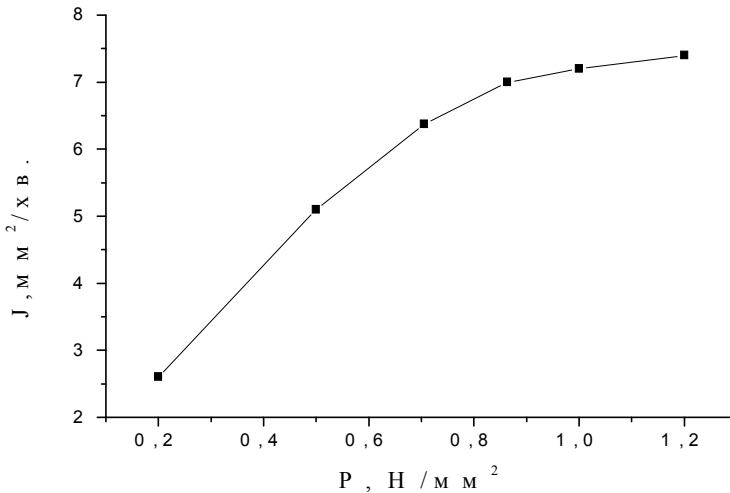


Рис. 2. Залежність інтенсивності розрізання монокристалів тетраборату літію від тиску в зоні різання

Таким чином, застосування запропонованих нами різальних інструментів для розрізання монокристалів та визначення ефективних умов процесів їх розрізання дає змогу запобігти руйнуванню кристалів на першій же операції їх обробки і, тим самим, зберегти кількість цілих монокристалів, зменшити витрати абразивного матеріалу, збільшити якість поверхонь розрізання, яка в подальшому може позитивно вплинути на виготовлення оптичних виробів функціональної електроніки.

Висновки. Таким чином, наведені вище дослідження дозволяють зробити наступні висновки:

- в результаті досліджень процесів розрізання крихких монокристалів парателуриту та тетраборату літію розроблена конструкція та виготовлено спеціальний різальний інструмент, застосування якого майже у 2 рази зменшує витрату абразивного матеріалу, та встановлені режими різання для цих матеріалів;
- різання доцільно проводити при середній швидкості відносного переміщення різального елемента 12,0 – 18,0 м/хв;
- встановлені граничні значення тиску, при якому відбувається близько 30 % руйнування монокристалів парателуриту та тетраборату літію при розрізанні, а саме, $P = 1,9 \text{ H/mm}^2$ для парателуриту та $P = 1,6 \text{ H/mm}^2$;

- в процесі досліджень встановлені оптимальні режими різання для монокристалів парателуриту: максимальна швидкість відносного переміщення різального елемента 25 м/хв.; тиск в зоні різання в межах 0,3...0,6 Н/мм²; інтенсивність різання від 5,5 мм²/хв. до 10,5 мм²/хв;
- дослідженням процесів різання монокристалів тетраборату літію встановлені оптимальні режими: максимальна швидкість відносного переміщення різального елемента 25 мм/хв.; тиск в зоні різання від 0,4 Н/мм² до 0,7 Н/мм²; інтенсивність різання від 3,5 мм²/хв. до 6,5 мм²/хв.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Лавриненко В.И., Проц Л.А. К вопросу об оценке качества обработанной поверхности монокристаллов парателлурита // Физические и компьютерные технологии: Тр. 9-й Межд. науч.-техн. конф., 3-4 июня 2004 г. – Харьков : ХНПК “ФЭД”, 2004. – С. 25–26.

2. Обработка полупроводниковых материалов / В.И. Карбань, П.Кой, В.В. Рогов и др.; Под редакцией Н.В. Новикова, В. Бертольди. – К.: Наук. думка, 1982. – 256 с.

ЛАВРИНЕНКО Валерій Іванович – доктор технічних наук, провідний науковий співробітник Інституту надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля НАН України.

Наукові інтереси:

- абразивна обробка та шліфування крутами з НТМ;
- інструменти з НТМ;
- властивості робочого шару кругів з НТМ.

Тел.: 430–35–29.

E-mail: ceramic@ism.kiev.ua.

ПРОЦ Лариса Анатоліївна – провідний інженер Інституту електронної фізики НАН України, пошукувач наукового ступеня при ІНМ НАН України (м. Ужгород).

Наукові інтереси:

- обробка монокристалів;
- процеси алмазної обробки;
- якість обробної поверхні монокристалів.

Тел.: (03122) 4–37–72.

Подано 15.03.2005

Лаврінченко В.І., Проц Л.А. Дослідження особливостей процесу розрізання монокристалів тетраборату літію та парателуриту, вирощених методом витягування з розплаву

Лаврінченко В.И., Проц Л.А. Исследование особенностей процесса разрезания монокристаллов тетрабората лития и парателлурита, выращенных методом вытягивания из расплава.

Lavrinenko V.I., Proth L.A. Research of features of process of cutting of monocrystals lithium tetraborate and paratellurite, brought up by a method crystal growing from cast.

УДК 621.923

Дослідження особливостей процесу розрізання монокристалів тетраборату літію та парателуриту, вирощених методом витягування з розплаву / В.І. Лаврінченко, Л.А. Проц

Вивчені особливості процесу розрізання монокристалів з тетраборату літію та парателуриту, вирощених методом витягування з розплаву. Показано, що операція розрізання є базовою в процесі якісної обробки монокристалів. Сформульовані рекомендації щодо підвищення показників процесу їх якісного розрізання.

УДК 621.923

Исследование особенностей процесса разрезания монокристаллов тетрабората лития и парателлурита, выращенных методом вытягивания из расплава / В.И.Лавринченко, Л.А.Проц

Изучен особенности процесса разрезания монокристаллов из тетрабората лития и парателлурита, выращенных методом вытягивания из расплава. Показано, что операция разрезания является базовой в процессе качественной обработки монокристаллов. Сформулированы рекомендации по повышению показателей процесса их качественного разрезания.

УДК 621.923

Research of features of process of cutting of monocrystals lithium tetraborate and paratellurite, brought up by a method crystal growing from cast / V.I. Lavrinenko, L.A. Proth

Features of processes of cutting monocrystals from lithium tetraborate and paratellurite, brought up are investigated by a method crystal growing from cast. It is shown, that operation of cutting is base during qualitative processing monocrystals. Recommendations for increase of parameters of process of their qualitative cutting are formulated.