

## ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИЧНОЇ ОДНОРІДНОСТІ МОНОКРИСТАЛІВ LiNbO<sub>3</sub> ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ АКТИВНИХ ЕЛЕМЕНТІВ ОПТОЕЛЕКТРОННИХ ПРИСТРОЇВ

Д. Ю. Сугак<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Національний університет "Львівська політехніка",  
кафедра напівпровідникової електроніки

<sup>2</sup>Науково-виробниче підприємство "Карат"

© Сугак Д. Ю., 2014

Викладено методологію досліджень оптичної однорідності великогабаритних монокристалів ніобату літію, призначених для виготовлення активних елементів електрооптичних та акустооптичних пристроїв управління лазерним випромінюванням. Наведено порядок операцій контролю, починаючи від процесу монодомінізації та встановлення хімічного складу і завершуючи виявленням світних точок та областей малокутового розсіювання світла. Встановлено, що контроль монодомінізації на відміну від традиційного травлення у суміші кислот HNO<sub>3</sub> та HF можна виконувати, спостерігаючи коноскопічну картину кристала у напрямку оптичної осі у поляризованому розсіяному світлі. Показано, що небажаного забарвлення, яке може виникнути у процесі монодомінізації, можна позбутись, не проводячи повторної монодомінізації, а виконавши відпал кристала у потоці кисню за температури близько 800 °С. Загальна інтегральна однорідність кристалів оцінюється полярископичними методами. Останні операції контролю провадяться шляхом дослідження розсіювання лазерного променя у двох взаємно перпендикулярних напрямках для виявлення світних точок та областей малокутового розсіювання світла.

**Ключові слова:** ніобат літію; оптична однорідність; коноскопічна картина; світні точки; малокутове розсіювання світла.

### Вступ

Монокристали ніобату літію (LiNbO<sub>3</sub>, НЛ) є одними з найбільш затребуваних матеріалів у сучасному приладобудуванні. Галузі їхнього застосування є надзвичайно широкими: оптоелектроніка, нелінійна, поляризаційна та інтегральна оптика, акустоелектроніка тощо [1–3]. Але будь-яке з цих застосувань вимагає від матеріалу оптичної якості та однорідності властивостей за об'ємом, що забезпечує функціонування активного елемента та самого пристрою. Особливо актуальним це стає у випадках виготовлення активних елементів електрооптичних затворів лазерного випромінювання та акустооптичних пристроїв, що працюють на об'ємних акустичних хвилях, і мають об'єм кілька кубічних сантиметрів.

Вирощування монокристалів НЛ зазвичай відбувається за методом Чохральського з розплаву вздовж полярної осі Z. Особливістю LiNbO<sub>3</sub> є його здатність кристалізуватись без зміни структури та симетрії у широкому діапазоні відхилень від стехіометричного складу як у бік переважання Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub> над Li<sub>2</sub>O, так і навпаки [1, 4]. Також необхідно враховувати той факт, що у ході процесу вирощування за високих температур внаслідок випаровування відбувається часткова втрата Li<sub>2</sub>O [1, 4–6]. Було показано [1–3], що найбільш оптично досконалі кристали можна отримати у випадку конгруентних складів, коли вміст оксиду літію становить близько 49 мол. %.

За такої варіабельності співвідношень молярних часток основних оксидів, які утворюють кристал, досягти збереження стабільності складу вздовж та впоперек всього зливку є завданням непростим. Особливо важливим це є у випадку вирощування кристалів великих габаритів – діаметр 100 мм і більше, довжина циліндричної частини 100 мм і більше. Виконати таке завдання можливо,

врахувавши два фактори – забезпечення стабільності теплових умов вирощування та забезпечення підживлення розплаву оксидом літію для збереження максимально сталим співвідношення між оксидами, які утворюють кристал.

Якщо першу умову можна виконати у будь-якій ростовій лабораторії шляхом створення теплового вузла установки вирощування, що забезпечує стабільність температур у радіальних напрямках над поверхнею розплаву та необхідний градієнт температур у напрямку росту [1, 4–6], то технологія з використанням двох тиглів, яка забезпечує підживлення розплаву оксидом літію, є надто складною для використання у промисловості. В усьому світі нею володіють лише декілька дослідницьких організацій [7]. Сьогодні переважна більшість підприємств, що займаються промисловим виробництвом монокристалів  $\text{LiNbO}_3$  великих розмірів, досягає повторюваності результатів вирощування кристалів, створюючи відповідні теплові вузли установок вирощування. Однак все одно залишається велика імовірність виникнення оптичних неоднорідностей у кристалі, зумовлених порушенням температурних умов під час вирощування і відповідно відхиленням складу, утворенням макродефектів – механічних двійників, світних точок, дислокацій тощо.

Оскільки ніобат літію за  $T < 1260$  °C є сегнетоелектриком, то після завершення процесу вирощування і охолодження до кімнатної температури кристал розбивається на окремі електричні домени, які компенсують електричну поляризацію один одного. Такі кристали не є придатними для більшості застосувань у функціональній електроніці [1]. Тому вирощений кристал у подальшому підлягає операції монодоменизації. Її результат так само повинен бути контрольованим.

Таким чином контроль однорідності та оптичної якості кристалів залишається невід’ємною складовою технологічного процесу виготовлення активних елементів з монокристалів  $\text{LiNbO}_3$  для пристроїв електрооптики та акустооптики і в загальному повинен забезпечувати:

- контроль хімічного складу та його однорідності;
- контроль монодоменильності;
- контроль спектрів поглинання;
- полярископичний контроль загальної оптичної однорідності зливків та окремих елементів з монокристалів;
- встановлення наявності та локалізацію світних точок та областей малокутового розсіювання світла.

Метою цієї роботи є розроблення методології контролю оптичної якості і однорідності великогабаритних монокристалів  $\text{LiNbO}_3$ , що є ключовим питанням під час виробництва елементів функціональної електроніки на їх основі.

### Методи контролю хімічного складу

Детальний огляд фізичних методів, що застосовуються для визначення складу кристалів ніобату літію, наведено у роботі [8]. Серед найбільш розповсюджених і застосовуваних є визначення температури Кюрі, дослідження положення краю фундаментального поглинання, хімічний аналіз, встановлення температури фазового синхронізму генерації другої гармоніки випромінювання неодимового лазера (1,064 мкм  $\rightarrow$  0,532 мкм). Останній метод яскраво показує чутливість фізичних властивостей  $\text{LiNbO}_3$  до змін його складу. Залежно від вмісту оксиду літію температура синхронізму генерації другої гармоніки неодимового лазера змінюється від  $-100$  °C ( $\sim 48$  мол. %  $\text{Li}_2\text{O}$ ) до  $+100$  °C ( $\sim 50$  мол. %  $\text{Li}_2\text{O}$ ) [4, 8–11]. Це, своєю чергою, спричинено істотною залежністю величини незвичайного показника заломлення від складу кристала [12] і, відповідно, аналогічною залежністю величини двопронезаломлення. Отже, зрозуміло, наскільки необхідним є досягнення стабільності складу кристала у всьому об’ємі зливка. Однак, як вже зазначалось вище,

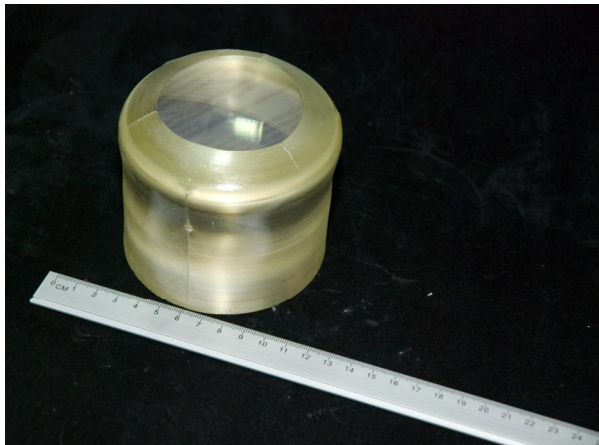
після відпрацювання конструкції теплового вузла та експериментального визначення основних технологічних параметрів, у першу чергу швидкості обертання та швидкості витягування кристала, вважається, що хімічний склад кристала є стабільним і його контроль виконується вибірково [1–3]. На НВП "Карат" визначення складу в основному проводиться методами хімічного аналізу, а також за величинами показників заломлення [13].

Слід також відзначити, що методи контролю складу як правило дають інтегральний результат за аналізованим об'ємом і не дозволяють визначати інші дефекти і ділянки їх розташування у зливку.

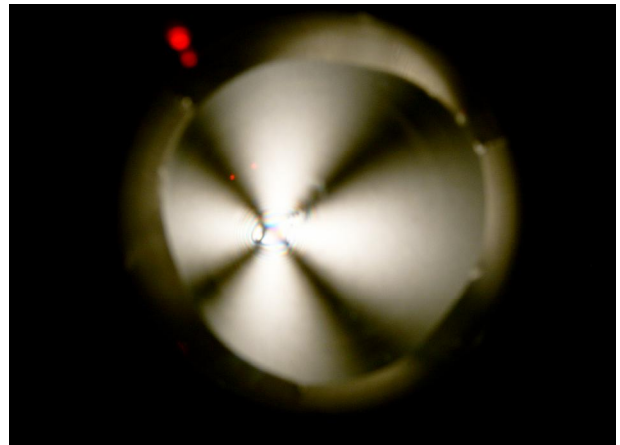
### Дослідження доменного стану ніобату літію та спектрів поглинання кристалів після процедури монодомінізації

Якщо монокристал  $\text{LiNbO}_3$  після завершення технологічного процесу вирощування є механічно цілісним, він підлягає монодомінізації. Процес монодомінізації полягає у нагріванні кристала вище за температуру Кюрі та подальшому повільному його охолодженні. При цьому до кристала прикладають електричне поле, яке власне і орієнтує електричні домени, що виникають після переходу НЛ у сегнетофазу і мають поляризацію у напрямку прикладеного поля. Для встановлення факту, що процес монодомінізації відбувся успішно, до сьогодні на практиці використовується метод травлення поверхонь, перпендикулярних до осі поляризації, у суміші кислот  $\text{HF}$  та  $\text{HNO}_3$  [1]. Монокристал вважається монодомініним, якщо після травлення грані  $Z$  мають однорідну рівномірну матову фактуру поверхні.

Однак численні експерименти, виконані у НВП "Карат", показали – переконались у тому, що зливки НЛ став монодомініним, можна також, спостерігаючи коноскопічну картину, використовуючи, наприклад, серійний полярископ ПКС-250М. Фотографія монокристала, одержаного на НВП "Карат" і приготованого для контролю монодомініності, наведена на рис. 1.



**Рис. 1.** Зливки монокристала ніобату літію, підготовлений для операцій контролю монодомініності, наявності макродефектів, світних точок та областей малокутового розсіювання світла



**Рис. 2.** Приклад інтерференційної коноскопічної картини у вигляді "мальтійського хреста", що спостерігається за допомогою поляриметра ПКС-250М в монодомініному монокристалі ніобату літію

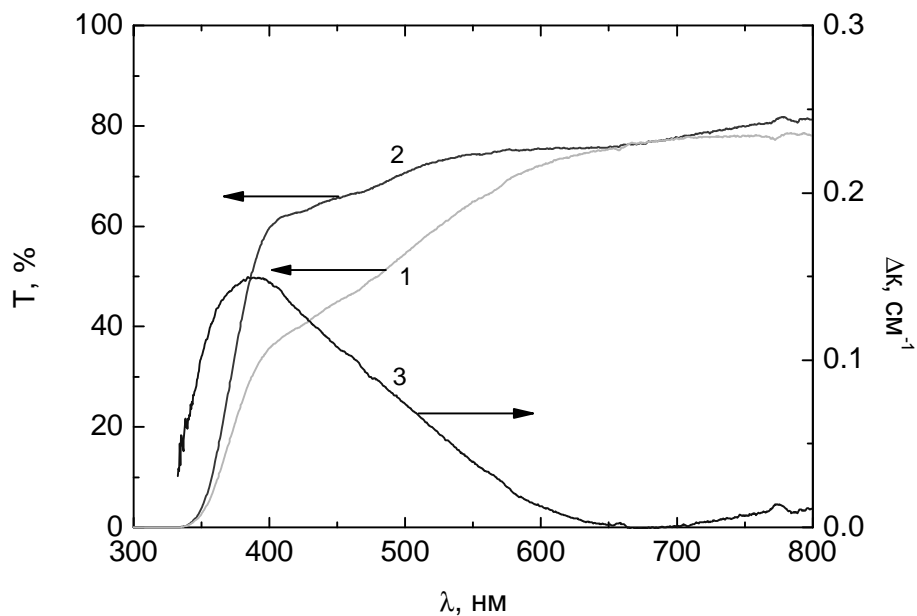
Оскільки ніобат літію є оптично одновісним кристалом, то у напрямку оптичної осі (вісь  $Z$ ) у збіжному чи розсіяному поляризованому світлі спостерігається характерна інтерференційна картина у вигляді так званого "мальтійського хреста" [14, 15]. Для спостереження коноскопії перед розміщенням кристала у полярископі необхідно відрізати верхню і нижню конічні частини зливку

НЛ і виконати полірування поверхонь Z. Типовий вигляд інтерференційної картини монодоменого кристала наведено на рис. 2.

У полідоменому кристалі коноскопична картина не виникає і спостерігається однорідно світле поле. Це зумовлено тим, що у кожному з величезної кількості доменів, на які розбивається НЛ, інтерференція відбувається окремо, і враховуючи окремі домени, світло заломлюється на їхніх границях. У результаті втрачається одна з умов конічної інтерференції, коли синфазність хвиль, що можуть інтерферувати, забезпечується рівністю кутів, під якими вони розповсюджуються у кристалі.

Отже, проведені дослідження показали, що замість традиційного контролю монодоменності шляхом небезпечного травлення кристала у суміші дуже агресивних і шкідливих HF та  $\text{HNO}_3$  [1] можна з успіхом використовувати коноскопичні методи. Слід відзначити, що операції з відрізання конічних частин та полірування поверхонь Z кристала потрібні не тільки для контролю монодоменності, а є необхідними у будь-якому випадку для подальшого контролю однорідності зливка  $\text{LiNbO}_3$ .

Іноді у ході монодоменізації під дією температури та електричного струму кристал може набутися небажаного коричневого забарвлення. Зазвичай такий кристал монодоменізують повторно.



**Рис. 3.** Спектри пропускання кристалів НЛ після монодоменізації (1), після відпалу забарвленого монокристала у  $\text{O}_2$  за температури  $800^\circ\text{C}$  протягом 24 год (2), різницевий спектр поглинання кристала після монодоменізації і після відпалу у  $\text{O}_2$ . Товщина досліджуваних зразків 35 мм

Спектр пропускання кристала із забарвленням, індукованим у процесі монодоменізації, подано на рис. 3, крива 1. Оскільки загальний вигляд кривої пропускання є подібним до спектра ніобату літію після його відпалу у відновлювальному середовищі [16], можна припустити, що природа забарвлення, індукованого у процесі монодоменізації, є близькою. Раніше [17] було показано, що процес забарвлення/обезбарвлення кристалів під впливом відновлювально-окислювальних відпалів є реверсивним. Тому було висловлено припущення, що небажаного забарвлення, яке може виникнути внаслідок монодоменізації, можна позбутися шляхом відпалу кристала НЛ у окислювальному середовищі. Відпал було виконано у потоці  $\text{O}_2$  за температури  $\sim 800^\circ\text{C}$  протягом

близько 24 год. Після такого відпалу забарвлення зникає. Спектр пропускання кристала після відпалу наведено на рис. 3, крива 2. Для наочності крива 3 на рис. 3 показує спектр різниці між поглинанням кристала після монодомінізації і поглинанням після відпалу у кисні. Цей спектр являє собою широку складну смугу в області від краю поглинання до 700 нм і є аналогічним до спектра додаткового поглинання кристалів НЛ, що пройшли відновлювальний відпал [16].

Зважаючи на те, що у процесі монодомінізації  $\text{LiNbO}_3$  може набути небажаного забарвлення, необхідно проводити контроль поглинання усіх отримуваних кристалів.

### **Інтегральна оцінка оптичної якості кристалів поляриметричними методами**

Для досліджень та контролю однорідності кристалічних матеріалів, зокрема ніобату літію достатньо широко застосовуються поляриметричні методи. Огляд таких методів контролю та математичної обробки поляриметричних зображень наведено у [19]. У роботі [20] для поляриметричних досліджень розроблено поляриметр з цифровим обробленням поляриметричного зображення у широкому світловому пучку.

Однак найбільш інформативним, на нашу думку, методом контролю оптичної однорідності кристала є оцінка величини аномального двозаломлення  $\Delta n_a$ , що може виникати, як зазначалось вище, внаслідок відхилень складу кристала, механічних напружень, утворення дислокацій тощо. Методика належить до поляриметричних і є детально описаною у [5]. Вона заснована на вимірюванні величини розходження гілок ізогир хреста коноскопічної картини, яка спостерігається на екрані після проходження розсіяного поляризованого лазерного світла крізь кристал у напрямку осі  $Z$ . Досліджуваний кристал розташовується на рухомому двокоординатному столику, який дозволяє переміщувати зразок під лазерним променем з кроком 3 мм як у горизонтальному, так і вертикальному напрямках, і, отже, отримувати топограму  $\Delta n_a$  кристала. Розрахувати величину  $\Delta n_a$  можна за формулою [1]:

$$\Delta n_a = \frac{n_o - n_e}{n_o^2} \sin^2 [2 \arctan(b/2L)],$$

де  $b$  – відстань між вершинами гіпербол,  $L$  – відстань від поверхні кристала до екрана, на якому спостерігається коноскопічна картина,  $n_o$ ,  $n_e$  – звичайний та незвичайний показники заломлення на довжині хвилі використовуваного світла. Дослідження кристалів  $\text{LiNbO}_3$ , вирощуваних на НВП "Карат", показують, що величина  $\Delta n_a$  у двох третинах об'єму зливка становить величину  $10^{-5}$ – $10^{-6}$  (як правило це нижні дві третини об'єму кристала), що є достатнім для створення елементів електрооптичних і акустооптичних пристроїв на основі кристалів НЛ [18].

Зазначимо також, що поляриметричні методи забезпечують визначення наявності двійникових ламелей у кристалах.

Не зважаючи на наочність поляриметричних методів, вони є інтегральними і дозволяють оцінити загальну якість кристала, не забезпечуючи виявлення, наприклад, світних точок чи областей малокутового розсіювання світла, а також встановити, на яких відстанях від поверхонь кристалічного зливку чи блока знаходяться ці дефекти, щоб запобігти їх потраплянню у робочий об'єм функціонального елемента з монокристала НЛ.

### **Контроль світних точок та областей малокутового розсіювання світла**

Контроль оптичної однорідності для одержання якісних оптоелектронних елементів з ніобату літію повинен забезпечувати не тільки встановлення монодомінізації кристалів, відсутність двійників і забарвлення, але також світних точок та областей малокутового розсіювання світла.

Якщо у випадку використання поляриметричних методів спостереження проводяться у напрямку, який є перпендикулярним до полірованої  $Z$ -грані, крізь яку проходить світло, то для виявлення світних точок та областей малокутового розсіювання спостереження треба виконувати або в напрямку, перпендикулярному до напрямку розповсюдження колімованого лазерного променя (пошук світних точок), або вздовж лазерного променя під невеликим кутом – 5–10 кутових градусів (області розсіювання), у інших випадках геометрії експерименту виявити вказані дефекти практично неможливо [21].

Для однозначного виявлення та локалізації областей скупчень світних точок у середині кристала необхідно створити на зливку поліровану ділянку, паралельну до осі вирощування  $i$ , як правило, орієнтовану перпендикулярно до кристалографічної осі  $Y$ , крізь яку можна досліджувати об'єм кристала у напрямку, перпендикулярному до скануючого колімованого променя лазера. Сканування забезпечується рухомим у двох координатах столиком, на якому розміщується досліджуваний зразок. Діаметр променя як правило становить 1–2 мм, довжина хвилі 633 нм, потужність неперервного випромінювання повинна становити величину порядку 20 мВт. Дослідження злиwkів кристала показали, що загальне, неprecizійне визначення розташування світних точок у зливку можна виконати, й досліджуючи його крізь циліндричну поверхню, яка у більшості якісних кристалів є прозорою. Але у цьому випадку через оптичні ефекти, зумовлені циліндричною поверхнею, крізь яку провадиться спостереження, світні точки будуть проявлятися у вигляді світних рисок. Результати досліджень показали, що світні точки та їх скупчення у переважній більшості кристалів є розташованими у верхній третині об'єму зливка, що узгоджується з даними вивчення аномального двозаломлення кристала – найменш однорідною так само є верхня третина об'єму монокристалічного зливку ніобату літію [5]. Це може бути пояснене тим, що початковий період росту – зародження кристала та розрощування конусної частини, є процесом найбільш нерівноважним, коли постійно змінюється швидкість обертання та витягування кристала і відповідно нестационарними є теплові умови на поверхні розплаву, що збільшує ймовірність виникнення дефектів.

Очевидно, що частина кристала, яка містить світні точки, не може бути застосована для одержання оптичних елементів, але з успіхом використовується для виготовлення фільтрів на поверхневих акустичних хвилях та інших акустоелектронних пристроїв.

Оскільки кристалічні блоки для оптоелектронних застосувань виготовлюються, як правило, з нижньої частини зливка, то цей об'єм кристала потребує контролю областей малокутового розсіювання світла, наявність яких не припустима у високоякісних оптичних елементах. При цьому перший етап такого контролю виконується на шайбі з кристала, яка вирізається зі зливка так, щоб її висота у напрямку  $Z$  відповідала габаритному розміру оптичного елемента, який заплановано до виготовлення. Як зазначалося вище, такі дослідження виконуються шляхом візуального спостереження під невеликим кутом 5–10° до лазерного скануючого променя крізь поліровані поверхні  $Z$ . Сканування виконується так само за допомогою двокоординатного столика. Області малокутового розсіювання мають дуже малий контраст і для їхнього виявлення необхідно постійно змінювати кут зору, під яким ведеться спостереження. Як правило вони мають вигляд хмаринок ниткоподібної або сочевицеподібної форми. При цьому необхідно відзначити, якщо така область спостерігається в одному напрямку, то не обов'язково вона буде виявлена у випадку зміни напрямку спостереження на 180°. Тому для виявлення усіх областей розсіювання дослідження треба виконувати у двох взаємно протилежних напрямках, причому такий контроль треба провадити у подальшому для кожної шайби і для кожної заготовки активного елемента. Зазначимо, що природа

виникнення областей малокутового розсіювання світла залишається не до кінця зрозумілою і потребує окремих спеціальних досліджень.

Для кожного окремого елемента так само треба повторно проконтролювати наявність світних точок у всьому його об'ємі, оскільки не можна повністю унеможливити ймовірність появи цих дефектів також у нижній частині кристала.

Отже, чітка послідовність і кількаразова повторюваність операцій контролю наявності світних точок та областей малокутового розсіювання, враховуючи усі попередні операції контролю однорідності кристалів, дозволяє в умовах дрібносерійного виробництва отримати з монокристалів ніобату літію заготовки активних елементів високої оптичної якості, придатні для створення електрооптичних та акустооптичних пристроїв.

### Висновки

Запропонована методологія контролю оптичної однорідності монокристалів ніобату літію для активних елементів оптоелектронних пристроїв є заснованою на виконанні чіткої послідовності окремих операцій, починаючи від візуального контролю вирощеного монокристала і завершуючи ретельним аналізом якості кожної окремої заготовки активного елемента.

Після відпрацювання технологічних прийомів та конструкції теплового вузла ростової установки, які дозволили відтворювати отримувати монокристали ніобату літію великого розміру (діаметр 100 мм, довжина циліндричної частини 100 мм), контроль складу  $\text{LiNbO}_3$  відбувався вибірково методами хімічного аналізу, а також за величинами показників заломлення і показав, що вирощувані кристали мають конгруентний склад з вмістом оксиду літію близько 49 мол. %.

Для контролю монодоменності кристалів замість традиційного травлення полярних площин у суміші азотної та плавикової кислот було застосовано повністю безпечно спостереження коноскопичної інтерференційної картини, яка для монодоменного кристала проявляється у розсіяному поляризованому світлі у напрямку оптичної осі кристала в вигляді так званого "мальтійського хреста".

Доведено, що небажане забарвлення, яке може виникнути у кристалі у процесі монодоменізації, спричинене термохімічними процесами відновлення. Для позбавлення такого забарвлення замість проведення повторної монодоменізації запропоновано використовувати відпал у потоці кисню за температур порядку 800 °С, що не порушує досягнутої монодоменності.

Інтегральну оптичну однорідність кристалів оцінено за допомогою досліджень величини аномального двозаломлення методами коноскопії. Більша частина об'єму вирощуваних кристалів відповідає критерію (величина  $\Delta n_a$  становить  $10^{-5}$ – $10^{-6}$ ), що висувається до ніобату літію, придатного до використання в оптоелектроніці.

Кількаразове, починаючи від зливка і завершуючи окремою заготовкою, виконання операцій контролю наявності світних точок та областей малокутового розсіювання шляхом сканування кристала лазерним променем і спостереження розсіювання світла у двох взаємно перпендикулярних напрямках дозволяє отримати з монокристалів ніобату літію заготовки активних елементів високої оптичної якості, придатні для створення електрооптичних та акустооптичних пристроїв.

Автор щиро вдячний канд. техн. наук, начальнику відділу НВП "Карат" І.М. Сольському за надану можливість досліджень кристалів та корисне обговорення результатів роботи.

- [1] Кузьминов Ю.С. Электрооптический и нелинейнооптический кристалл ниобата лития. – М.: Наука, 1987. – 264 с.
- [2] Arizmendi L. Photonic applications of lithium niobate crystals // *Phys. Stat. Sol. (a)* 201(2) (2004) 253–283.
- [3] Abd El-Naser A. Mohamed, Mohamed A. Metawe'e, Ahmed Nabih Zaki Rashed, Amira M. Bendary. Recent progress of LiNbO<sub>3</sub> based electrooptic modulators with non return to zero (NRZ) coding in high speed photonic networks // *International Journal of Information and Communication Technology Research*, 1(2) (2011) 55-63.
- [4] Byer R.L., Young J.F., Feigelson R.S. Growth of high quality LiNbO<sub>3</sub> crystals from the congruent melt // *J. Appl. Phys.* 41(6) (1970) 2320-2325.
- [5] Сольский И.М., Сугак Д.Ю., Габа В.М. Получение оптически однородных монокристаллов ниобата лития больших размеров // *Технология и конструирование в электронной аппаратуре*, 5 (2005) 51-55.
- [6] Solskii I.M., Sugak D.Yu., Vakiv M.M. Growing large size complex oxide single crystals by Czochralski technique for electronic devices // *Acta Physica Polonica A*, 124 (2) (2013) 314-320.
- [7] Kitamura K, Furukawa Y., Iyi N. Progress in LiNbO<sub>3</sub> single crystal growth of using double crucible Czochralski method // *Ferroelectrics*, 202 (1) (1997) 21-28.
- [8] Wöhlecke M., Corradi G., Betzler K. Optical methods to characterise the composition and homogeneity of lithium niobate single crystals // *Appl. Phys. B*, 63 (1996) 323-330.
- [9] Midwinter J.E. Lithium niobate: effects of composition on the refractive indices and optical second-harmonic generation // *J. Appl. Phys.* 39(2) (1968) 3033-3038.
- [10] Geraskin V.V., Blistanov A.A., Goreeva J.A., Klyukhina J.V. Development of method of determination of Li/Nb ratio in LiNbO<sub>3</sub> crystals // *Ferroelectrics*, 285 (2003) 327–337.
- [11] T. Zhang, B. Wang, Y.-Q. Zhao, S.-Q. Fang, D.-C. Ma, Y.-H. Xu. Optical homogeneity and second harmonic generation in Li-rich Mg-doped LiNbO<sub>3</sub> crystals // *Materials Chemistry and Physics*, 88(1) (2004) 97–101.
- [12] Schlarb U., Betzler K. Refractive indices of lithium niobate as a function of wavelength and composition // *J. Appl. Phys.* 73 (1993) 3472-3476.
- [13] Михалевич А.Т., Сольский И.М., Габа В.М., Матковский А.О., Сугак Д.Ю., Балучинский М.П., Кухарук С.Н. Высококачественные монокристаллы ниобата лития для элементов поляризационной оптики / В кн.: Радиоэлектронное материаловедение, ч.3 / НПО “Карат”. – Львов, 1989. – С. 85–91.
- [14] Меланхолин Н.М. Методы исследования оптических свойств кристаллов. – М.: Наука, 1970. – 155 с.
- [15] Романюк М.О. Кристалооптика. – К.: ІЗМН, 1997. – 432 с.
- [16] Сугак Д.Ю., Сольський І.М., Сиворотка І.І., Ваків М.М. Вплив термохімічних обробок на оптичні властивості монокристалів ніобату літію // *Нові технології*, 1 (35) (2012) 19-26.
- [17] D. Sugak, Ya. Zhydachevskii, Yu. Sugak, O. Buryu, S. Ubizskii, I. Solskii, M. Schrader, K.-D. Becker. In-situ investigation of optical absorption changes in LiNbO<sub>3</sub> during reducing/oxidizing high-temperature treatments // *J. Phys.: Cond. Matter.* 19 (2007) 086211 (12 pp).
- [18] Ярив А. Квантовая электроника и нелинейная оптика. – М: Советское радио, 1973. – 458 с.
- [19] Vajor A.L. Some problems of optical inhomogeneity testing in crystalline materials by imaging polarimetry // *Prace ITME*, 47 (1996) 48 p.
- [20] Крупич О.М., Бережний І.В., Влох О.Г. Автоматичний поляриметр матриці Джонса цілого поля зображення // *Вісник Держ. ун-ту “Львівська політехніка”*, 348 (1998) 3-11.
- [21] Д.Ю. Сугак, И.М. Сольский, Б.Н. Копко, Т.О. Крет, В.М. Габа, И.Е. Грошовый, Р.Т. Жеграй, Н.М. Вакив Контроль оптического качества монокристаллов LiNbO<sub>3</sub> и активных элементов на их основе для оптоэлектроники // *Материалы 11-й Международной научно-практической конференции “Качество, стандартизация, контроль: теория и практика”*, 26–29 сентября 2011, Ялта / АТМ України. – К., 2011, С. 143–145.



---

## LINBO<sub>3</sub> SINGLE CRYSTALS OPTICAL HOMOGENEITY DETERMINATION FOR OPTOELECTRONIC DEVICES ACTIVE ELEMENTS FABRICATION

D. Yu. Sugak<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Lviv Polytechnic National University, Department of Semiconductor Electronics,

<sup>2</sup>Scientific Research Company "Carat"

© Sugak D. Yu., 2014

This paper presents the research methodology of large-sized lithium niobate single crystals optical homogeneity for the manufacture of active elements of electro-optical and acousto-optical laser radiation control devices. It demonstrates the order of control operations starting from single domain processing and chemical composition check and completing with the identification of scattering points and small-angle light scattering areas. It is established that single domain checking, unlike traditional etching in a mixture of HNO<sub>3</sub> and HF can be performed by observing conoscopic pattern of the crystal towards the optical axis in polarized scattered light. It is found that undesirable coloring, which may appear during single domain processing can be cleared off by annealing in oxygen flow at about 800 °C. The total integral crystals homogeneity is estimated by polariscopic methods. The last control operation are held by means of the study of the laser beam scattering in two mutually perpendicular directions for the detection of scattering points and areas of small-angle light scattering.

**Key words:** lithium niobate, optical homogeneity, conoscopic pattern, scattering points, small-angle scattering areas.