

АКУСТООПТИЧНІ МОДУЛЯТОРИ СВІТЛА НА СТОЯЧИХ АКУСТИЧНИХ ХВИЛЯХ З ВИКОРИСТАННЯМ ВЛАСНОГО П'ЄЗОЕФЕКТУ МОНОКРИСТАЛІВ ТАНТАЛАТУ ЛІТІЮ

Д. М. Винник¹, В. Г. Гайдучок^{1,2}, Б. М. Копко^{1,2}, к. т. н. І. М. Сольський²,
д. т. н. М. М. Ваків^{1,2}, д. т. н. А. С. Андрущак¹

Національний університет «Львівська політехніка»¹,
Науково-виробниче підприємство «ЕЛЕКТРОН – КАРАТ»²
Україна, м. Львів
office@carat.electron.ua

Розроблено акустооптичні модулятори світла на стоячих акустичних хвилях з використанням власного п'єзоефекту монокристалів танталату літію. Проведено дослідження їхніх оптичних параметрів. Показано, що максимальна дифракційна ефективність досягається при споживаній електричній потужності на рівні 1 Вт. Такі акустооптичні модулятори світла можна використовувати для синхронізації мод твердотільних лазерів.

Ключові слова: акустооптичний модулятор, стоячі акустичні хвилі, дифракційна ефективність, танталат літію.

В [1, 2] був досліджений акустооптичний модулятор (АОМ) на стоячих акустичних хвилях з активним елементом світлозвукопровода з ніобата літію. АОМ працював в режимі Рамана – Ната. На цьому модуляторі автори одержали імпульси довжиною 5,5 пс, працюючи в режимі активної синхронізації мод в твердотільному лазері на фосфатному склі з неодимом. В іншому випадку, використовуючи АОМ на основі LiNbO_3 , в якому збудження акустичних хвиль відбувалося за рахунок власного п'єзоефекту, було одержано імпульси тривалістю 13 ± 5 пс при застосуванні твердотільного лазера на склі з домішками $\text{Cr} - \text{Yb} - \text{Er}$ на довжині хвилі 1,54 мкм. Ці АОМ працювали в режимі Бреггівської дифракції, а пікова потужність імпульсів становила більше 100 кВт [3, 4]. В [1–4] представлені АОМ, в яких стоячі акустичні хвилі збуджувались в напрямку осі Y кристалів ніобата літію за рахунок їхнього власного п'єзоефекту. Модулятори такого типу більш ефективні та технологічно простіші у виконанні, так як відсутня холодна приварка п'єзоперетворювачів при їх виготовленні. Відповідно, такого типу АОМ є значно дешевшими. Однак АОМ на стоячих акустичних хвилях з використанням власного п'єзоефекту в кристалах LiNbO_3 мають суттєвий недолік, а саме низьку променеву стійкість. Натомість, монокристали танталату літію мають і значно вищу променеву стійкість [5], і високі значення коефіцієнта електромеханічного зв'язку [6].

Виходячи з цього, нами було поставлене завдання з виготовлення АОМ на основі монокристалів танталату літію LiTaO_3 , збудження стоячих акустичних хвиль в яких здійснювалося за рахунок власного п'єзоефекту в напрямку кристалографічної осі X .

Було виготовлено активні елементи акустооптичної комірки на стоячих акустичних хвилях мають розмірами $3 \times 4 \times 24$ мм вздовж кристалографічних осей X , Y , Z відповідно. На поліровані грані в площині YZ вакуумним напилюванням наносили плівки $\text{Cr} - \text{Cu}$ або $\text{Cr} - \text{Ag}$, які служили електродами. Для створення високої добротності акустооптичних резонаторів паралельність граней в площині YZ витримувалась з точністю $\leq 10''$. Паралельність граней активного елемента, на які падає світловий потік в площині XY , витримувались також з точністю $\leq 10''$. На грані XY наносились просвітлюючі покриття для лазерного випромінювання з довжиною хвилі 0,63 та 1,06 мкм.

Основна резонансна частота активних елементів розраховувалась зі співвідношення

$$f_0 = V / (2d),$$

де V — швидкість розповсюдження поперечної акустичної хвилі в напрямку X ; d — товщина активного елемента в цьому ж напрямку.

Розрахована частота дорівнювала $f_0 = 557$ кГц. Робочі частоти акустооптичного модулятора на стоячих акустичних хвилях розраховувались як

$$f_m = (2m + 1)f_0,$$

де $m = 1, 2, 3, \dots$ порядок гармоніки.

З метою подальшої розробки схем узгодження з генератором високочастотних сигналів, активний опір якого дорівнює 50 Ом, було виміряно в широкому діапазоні частот 20—180 МГц активний R_a та реактивний ємнісний Z_c опір. Вимірювання проводились на векторному аналізаторі фірми Rohde&Shwarz. Загальний вигляд акустооптичного модулятора на стоячих хвилях на основі монокристалу танталату літію представлений на фото.

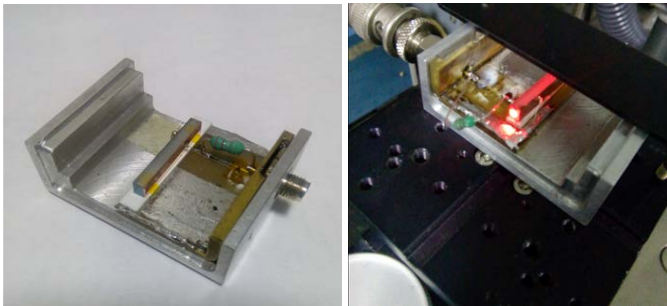


Фото досліджуваного акустооптичного модулятора на стоячих хвилях

Дослідження оптичних параметрів виготовлених АОМ проводились на довжині хвилі випромінювання гелій-неонового лазера $\lambda = 0,63$ мкм. Був визначений тип акустооптичної дифракції АОМ. В нашому випадку дифракція світла гелій-неонового лазера на резонансній частоті $f_m = 52,6$ МГц відносилась до проміжного типу дифракції. Максимальне значення дифракційної ефективності досліджуваного АОМ досягало в ± 1 -му порядку дифракції близько 30% при споживаній електричній потужності 1 Вт.

Таким чином дослідження показали, що АОМ на стоячих акустичних хвилях, виготовлені на кристалах танталату літію з використанням власного п'єзоефекту для збудження акустичних хвиль, не поступаються по своїх параметрах АОМ на основі монокристалів LiNbO_3 , зате значно перевищують їх за променевою стійкістю. Це дозволяє розширити сферу застосування таких АОМ в оптичних пристроях з високою потужністю лазерного променя.

Представлені результати є частиною проекту, фінансованого з Програми дослідження та інновацій Європейського Союзу «Горизонт 2020» у рамках Грантової угоди № 778156 Марії Склодовської-Кюрі.

ВИКОРИСТАНІ ДЖЕРЕЛА

1. Turi L., Kuti C., Krausz F. Piezoelectrically Included diffraction modulation of light / IEEE Quantum Electronics.— 1990.— № 26.— P. 1234 – 1240.
2. Krausz F. Turi L., Kuti C., Schmit A. Active mode locking of lasers by piezoelectrically induced diffraction modulation // Appl. Phys. Lett.— 1990.— №56.— P. 1415–1417.
3. Грудинин А.В. Дианов Е.М. Дсыкач Б.И. и др. Пикосекундный лазер // Квантовая электроника.— 1992.— Т. 19, № 2.— С. 140.
4. Басилев Г.Г., Грудинин А.В., Карасик А.Я. и др. Пикосекундный лазер с активной синхронизацией мод на основе кальций-литий-ниобий-гелиевого розупорядженого граната с Nb // Квантовая электроника.— 1994.— Т. 2, № 1.— С. 89.
5. Roth M., Tseitlin M., Angert N. Oxide crystals for electro-optic Q-switching of lasers // Proc. of the third Russian–Israel–National Workshop 2004 “The optimization of the composition, structure, and properties of metals, oxides, composites, nanomaterials, and amorphous materials”.— Russia, St. Petersburg.— 2004.
6. Бондаренко В.С., Зоренко В.П., Чкалова В.В. Акустооптические модуляторы света.— Москва: Радио и связь, 1988.

D. M. Vynnyk, V. G. Haiduchok, B. M. Kopko, I. M. Solskij, M. M. Vakiv, A. S. Andrushchak

Acousto-optic light modulators on standing acoustic waves using own piezoelectric effect of lithium tantalate single crystals

The authors develop acousto-optic light modulators on standing acoustic waves with the use of own piezoelectric effect of lithium tantalate single crystals. The optical parameters of the fabricated modulators are studied. It is shown that maximum diffraction efficiency is achieved at electric power consumption of 1 W. Such acousto-optic light modulators can be used in mode locking of solid-state lasers.

Keywords: acousto-optic modulator, standing acoustic waves, diffraction efficiency, lithium tantalate.