

Н. С. Казак¹, Г. В. Кулак², П. И. Ропот¹, О. В. Шакин³
¹Институт физики имени Б. И. Степанова НАН Беларуси,
Минск, Беларусь

²УО «Мозырский государственный педагогический университет
имени И. П. Шамякина», Мозырь Беларусь

³Государственный университет аэрокосмического
приборостроения, Санкт-Петербург, Россия

ШИРОКОПОЛОСНАЯ ДИФРАКЦИЯ СВЕТА НА ОБЪЕМНЫХ АКУСТИЧЕСКИХ ВОЛНАХ В ТРИГОНАЛЬНЫХ ЭЛЕКТРООПТИЧЕСКИХ КРИСТАЛЛАХ

Введение

Дифракция света на УЗ волнах с возможностью частотной перестройки в широком диапазоне находит многочисленные применения при создании различных АО устройств обработки информации: широкополосных АО дефлекторов и модуляторов, спектроанализаторов, корреляторов, демодуляторов частотно- и фазомодулированных сигналов [1, 2]. При этом важно знать форму амплитудно-частотной характеристики (АЧХ) в широком частотном диапазоне [3].

Результаты теоретических исследований

Пусть в периоде d многоэлементной системы ВШП сочетаются металлическая полоска шириной b и неметаллический участок шириной a (рисунок 1).

Подавая противофазное высокочастотное напряжение на электроды, можно возбудить объемные УЗ волны высокой частоты, распространяющиеся под малыми углами к оси OZ .

Расчет нормированной эффективности дифракции $\eta_n = \eta_s / \eta_{s \max}$ производился для YZ - среза кристалла ниобата лития ($LiNbO_3$) в условиях изотропной дифракции обыкновенных световых волн, поляризованных перпендикулярно плоскости дифракции, на сдвиговых УЗ волнах. Центральная частота рассчитывалась по формуле $f_0 = v_s (n / \lambda_0 d)^{1/2}$. С учётом [3] интенсивность УЗ волны для YZ -

среза кристалла $LiNbO_3$ определялась нами по формуле $I_a = (u_o^2 N f_o / A d v_s 10^5)$, где $A = 8,6$.

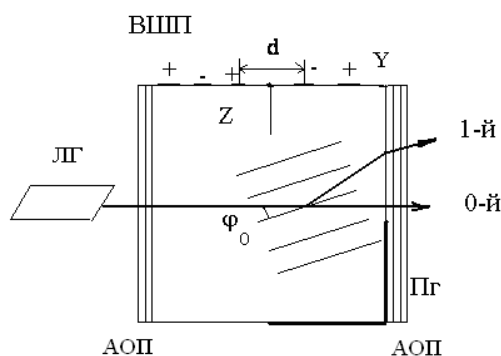


Рисунок 1 – Схема брэгговской АО дифракции (ВШП – встречно-штыревой преобразователь, Пг – поглотитель, ЛГ – лазерный генератор, АОП – антиотражающее покрытие)

Численные расчеты производились для одноосных кристаллов $LiNbO_3$ YZ-среза в условиях изотропной АО дифракции обыкновенных световых волн на сдвиговых УЗ волнах.

На рисунке 2 представлена зависимость η_n от приведенной частоты УЗ волны $F = (f - f_0) / f_0$. Из рисунка 2, видим, что, если центральная частота $f_0 = 1,75$ ГГц и числе пар электродов $N = 40$, ширина полосы АО взаимодействия составляет $\Delta f = 525$ МГц.

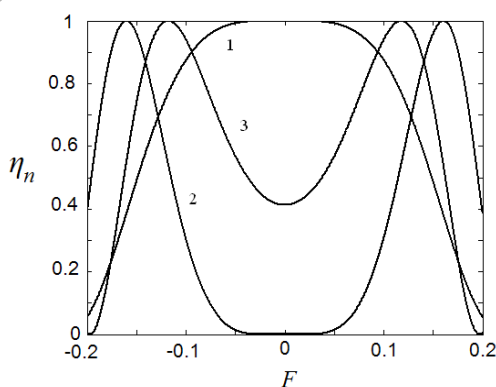


Рисунок 2 – Зависимость нормированной эффективности дифракции η_n от приведенной частоты ультразвука F ($d = 15,2$ мкм, $\lambda_0 = 0,63$ мкм, $N = 40$, $n = 2,3$; $p_{эф} = p_{14} = 0,07$; $I_a = 10$ Вт/см², $\varphi_0 = 0,076$ рад (4,35 град), $\eta_{max} = 0,02$, $f_0 = 1,75$ ГГц; 1 – $\theta_0 = -2$; 2 – $\theta_0 = -2 - 0,89 / [Q(1 + F)]$; 3 – в условиях изотропной дифракции)

Результаты экспериментальных исследований

Схема экспериментальной установки, предназначенной для наблюдения в кристалле $LiNbO_3$ брэгговской АО дифракции с поверхностным возбуждением УЗ волн, представлена на рисунке 3.

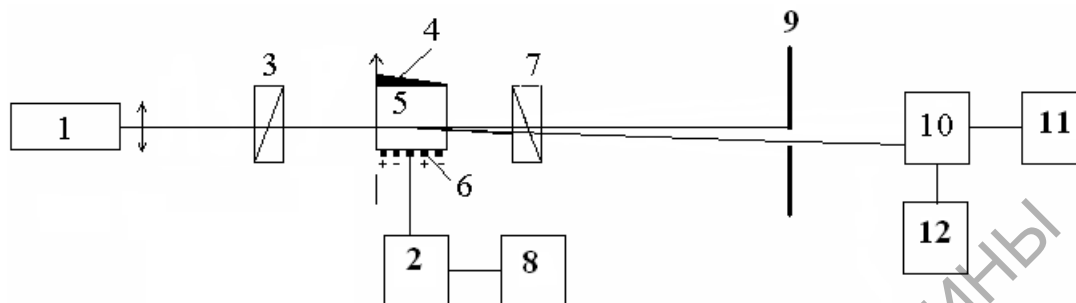


Рисунок 3 – Схема экспериментальной установки

(1 – лазер; 2 – усилитель; 3,7 – поляризаторы; 4 – поглотитель;
5 – кристалл; 6 – система ВШП; 8 – усилитель; 9 – диафрагма;
10 – фотоприемник; 11 – осциллограф; 12 – измеритель мощности)

На рисунке 4 изображена амплитудно-частотная характеристика АО модулятора-дефлектора на основе кристалла $LiNbO_3$ с характеристиками, соответствующими приведённым на рисунке 2.

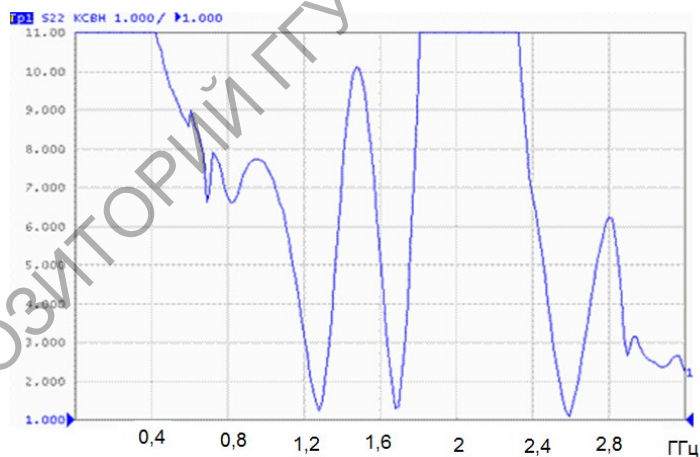


Рисунок 4 – Амплитудно-частотная характеристика АО модулятора-дефлектора (вдоль оси ординат отложены значения амплитуды, отсчитанные по шкале осциллографа; $f_0 = 1,75$ ГГц, $\lambda_0 = 0,63$ мкм, $LiNbO_3$)

Из рисунка 2 и рисунка 4 следует удовлетворительное соответствие результатов теоретических расчётов с экспериментальными.

Зависимость нормированной эффективности дифракции η_n от приведенной частоты F УЗ волны при разных значениях параметра

Δn изображена на рисунке 5. Анализируя представленную на нём информацию, видим, что даже в условиях точного брэгговского синхронизма ($\theta_0 = -2$) АЧХ дефлектора может иметь широкий диапазон перестройки и приобретает форму двугорбой кривой с провалом в центре. При $\Delta n = 0,023$ ширина полосы частотной перестройки дефлектора составляет $\Delta f = 700$ МГц.

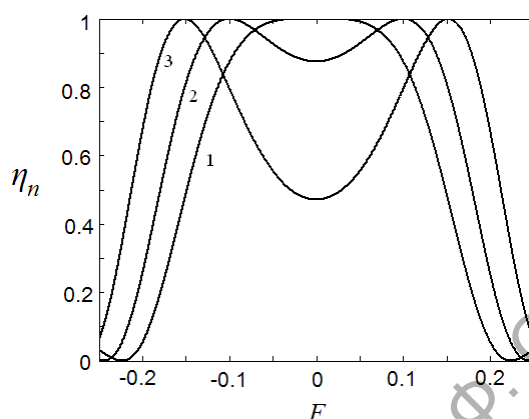


Рисунок 5 – Зависимость нормированной эффективности дифракции η_n от приведенной частоты ультразвука F при $\theta_0 = -2$ в условиях анизотропной дифракции при разной степени анизотропии ($d = 15,2$ мкм, $\lambda_0 = 0,63$ мкм, $N = 40$, $n = 2,3$; $p_{эф} = p_{14} = 0,07$; $I_a = 10$ Вт/см², $\varphi_0 = 0,076$ рад (4,35 град), $\eta_{max} = 0,02$, $f_0 = 1,75$ ГГц; 1 – $\Delta n = 0$; 2 – $\Delta n = 0,01$; 3 – $\Delta n = 0,023$)

Заключение

Таким образом, показано, что в тригональных кристаллах ниобата лития достижима ширина полосы пропускания АО модулятора-дефлектора ~ 500 МГц; при учете электрооптического эффекта ширина полосы пропускания составляет ~ 700 МГц. АЧХ акустооптического модулятора-дефлектора со сканирующей диаграммой в условиях электроиндуцированной анизотропии существенно отличается от АЧХ устройства в ее отсутствие.

Литература

1. Белый, В. Н. Широкополосный акустооптический дефлектор на объемных акустических волнах / В. Н. Белый, И. Г. Войтенко, Г. В. Кулак // Журнал технической физики. – 1989. – Т. 59, вып. 5. – С. 82–85.

2. Волик, Д. П. Анализ амплитудно-частотной характеристики акустооптического дефлектора с поверхностным аподизированным

пьезопреобразователем // Д. П. Волик, В. В. Роздобудько // Журнал технической физики. – 2009. – Т. 79, № 6. – С. 124–128.

3. Балакший, В. И. Физические основы акустооптики / В. И. Балакший, В. Н. Парыгин, Л. Е. Чирков. – М.: Радио и связь, 1985. – 280 с.

4. Pelipenko, M. I. Optimization of parameters small aperture acoustooptical deflectors / M. I. Pelipenko // Wave Electronics and Its Applications in the Information and Telecommunication Systems: VII International Conference for Young Researchers, St. Petersburg, Russia, 12–15 September 2004. – Saint-Petersburg: State University for Aerospace Instrumentation, 2004. – P. 29–30.

5. Дъельсан, Э. Упругие волны в твердых телах. Применение для обработки сигналов / Э. Дъельсан, Д. Руайе. – М.: Наука, 1982. – 424 с.

6. Хаус, Х. Волны и поля в оптоэлектронике / Х. Хаус. – М.: Мир, 1988. – 430 с.

7. Яковкин, И. Б. Дифракция света на акустических поверхностных волнах / И. Б. Яковкин, Д. В. Петров. – Новосибирск: Наука. Сиб. отд., 1979. – 184 с.