

Акустооптическая модуляция света

Абрамов Александр, 604-104

Нечаева Дарья, 604-103

Салтыкова Дарья, 604-104

Ульянова Мария, 604-103

Шмаков Владимир, 604-103

4 декабря 2024 г.

Цель работы

- Ознакомиться с принципом работы и основными параметрами акустооптического модулятора.
- Рассчитать основные характеристики используемого модулятора.

Теоретические сведения

Дифракцию света на ультразвуковых волнах можно объяснить с точки зрения изменений плотности и упругости среды. Ультразвуковая волна, проходя через твёрдое тело или жидкость, создает чередующиеся области сжатия и разрежения, разделённые расстоянием, равным длине её волны. Эти колебания плотности приводят к периодическим изменениям показателя преломления среды, обусловленным фотоупругим эффектом. Таким образом, в среде возникает модуляция показателя преломления с той же частотой, что и ультразвуковая волна, что создаёт условия для дифракции света на образовавшейся периодической структуре.

Существуют два типа дифракции: дифракция Рамана-Ната и дифракция Брэгга, которые имеют принципиальные отличия в характере дифракционного спектра.

При дифракции Рамана-Ната свет, проходя через возмущённую ультразвуком среду, создаёт множество дифракционных максимумов, расположенных симметрично и на равных расстояниях по обе стороны от центрального луча. Обычно свет падает перпендикулярно направлению распространения звуковой волны, то есть параллельно её фронту. Углы θ_m , под которыми наблюдаются дифракционные максимумы m -го порядка, определяются по формуле:

$$\sin \theta_m = \frac{m\lambda}{\Lambda}, \quad (1)$$

где λ — длина волны света в среде, а Λ — длина волны звука.

Частота света в каждом дифракционном порядке m смещена на величину $m\Omega$ относительно частоты падающего света ω , где Ω — частота ультразвуковой волны. Итоговая частота света в дифракционном порядке равна $\omega + m\Omega$.

Дифракция Брэгга характеризуется тем, что в данном случае наблюдается только один дифракционный максимум, соответствующий порядку $m = -1$, в отличие от дифракции

Рамана-Ната, где могут быть максимумы более высоких порядков. Максимальная интенсивность Брэгговского максимума достигается, если свет падает под углом Брэгга, определяемым формулой:

$$\sin \theta_b = \frac{\lambda}{2\Lambda}, \quad (2)$$

где θ_b — Брэгговский угол.

Таким образом, выбор угла падения и длины волны позволяет выбрать нужный режим дифракции: многократный спектр для режима Рамана-Ната или один интенсивный максимум для режима Брэгга.

Методика

Оборудование

- Лазер
- Акустооптическая ячейка
- Осциллограф
- Фотоприемник
- Генератор

Обработка экспериментальных данных

Определение скорости звука в молибдате свинца

Частота генератора ν [МГц]	Расстояние между максимумами d [см]	$\sin(\theta)$	Λ [мкм]	v [м/с]
75	2.3	0.0144	44.9	3370
80	2.4	0.0151	43.06	3445
85	2.5	0.0157	41.34	3513
90	2.6	0.0164	39.75	3577
95	2.8	0.0176	36.9	3506
100	3.0	0.0189	34.45	3445

Таблица 1: Нахождение скорости звука по зависимости $d = d(\nu)$

Данные для расчета скорости звука представлены в таблице . Таким образом, среднее значение скорости звука:

$$\bar{v} = \frac{1}{6} \sum_{i=1}^6 v_i \sim 3480 \text{ м / с}$$

Для нахождения погрешности рассчитаем несмещенную оценку стандартного отклонения:

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{6-1} \sum_{i=1}^6 (v_i - \bar{v})^2} \sim 65 \text{ м / с}$$

Таким образом, скорость звука в используемом кристалле: $v = 3480 \pm 65 \text{ м / с}$.

Распределение интенсивностей в дифракционных максимумах

Было получено распределение интенсивностей в дифракционных максимумах, см. рис. 1.



Рис. 1: Распределение интенсивностей в дифракционных максимумах

Нахождение мощностного коэффициента преобразования во вторую гармонику

A [В]	I [мкА]
0.85	100
0.56	75
0.6	80
0.48	50
0.4	40
0.0216	25

Таблица 2: Амплитуда сигнала на фотоприёмнике от силы тока (для дифрагированного света)

Для нахождения эффективности акустооптической ячейки рассмотрим измерения из таблицы 2. Мощность первой гармоники считаем постоянной. Нанесём на график зависимость отношения интенсивности дифрагированного света к интенсивности падающего света от мощности.

Как видно на рисунке 2, отношение I_1/I_0 меняется в зависимости от мощности. То есть коэффициент дифракционной интенсивности различный для разных мощностей.

Энергетическая эффективность ячейки есть коэффициент наклона изображенной на рисунке 2 зависимости. Таким образом:

$$\eta_{\text{энерг}} = 0.84 \pm 0.08 \frac{1}{\text{мкВт}}$$

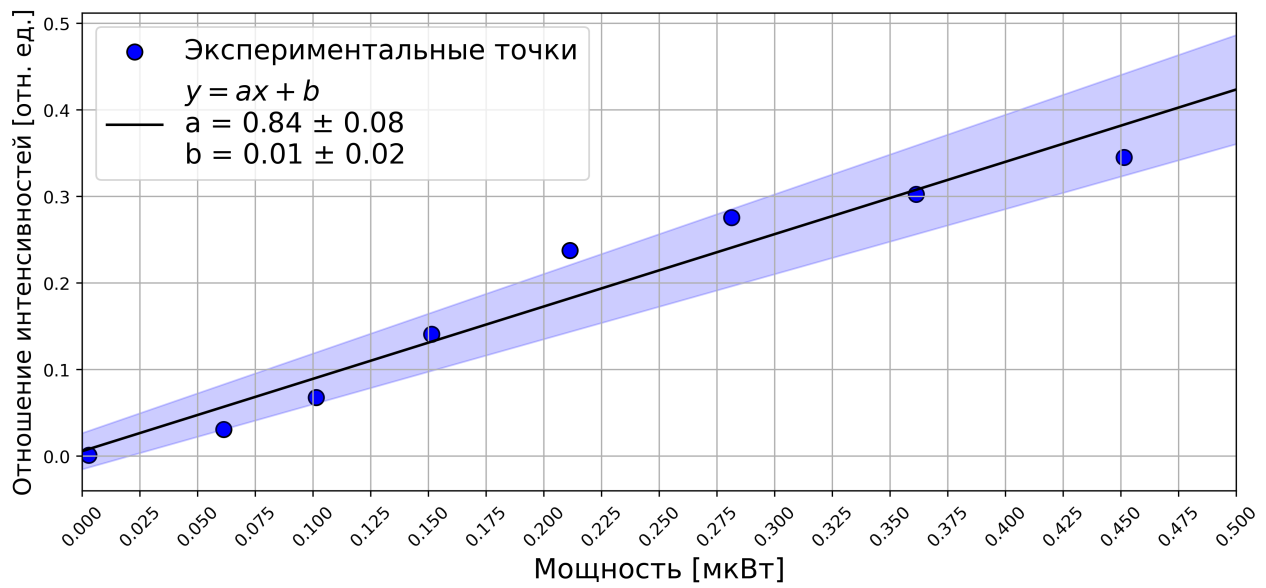


Рис. 2: Зависимость отношения I_1/I_0 от мощности

Вывод

Удалось рассчитать основные характеристики акустооптической ячейки, а именно:

- скорость звука в кристалле
- энергетическую эффективность
- распределение интенсивностей в максимумах