

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ
ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО
ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
ИРКУТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
(ГОУ ВПО ИГУ)
КАФЕДРА ОБЩЕЙ ФИЗИКИ

Н.А. Иванов

**Акустооптический эффект и его
применение в квантовой
электронике**

Методические рекомендации

Иркутск 2005 г

СОДЕРЖАНИЕ

1. Дифракция света на ультразвуковой волне	3
2. Экспериментальная часть	5
2.1. Экспериментальная установка	5
2.2. Эксперимент	5
2.3. Задание	6
3. Контрольные вопросы	6

1. Дифракция света на ультразвуковой волне

Световые волны взаимодействуют с акустическими благодаря акустооптическому эффекту. Он заключается в том, что оптические характеристики среды изменяются пропорционально механическим деформациям. При не слишком высоких интенсивностях звука изменения оптических характеристик пропорционально деформации среды. Для описания взаимодействия света с звуковой волной в прозрачных средах необходимо знать изменение эллипса показателей преломления. Оно характеризуется тензором фотоупругости p_{idkl} :

$$\Delta a_{id} = \sum_{k=1}^3 \sum_{j=1}^3 p_{idkl} S_{kl} , \tag{1}$$

где $a_{id} = \left(\frac{1}{n^2} \right)_{id}$ - константы эллипсоида показателя преломления. S -тензор деформации:

$$S_{kl} = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial u_k(\mathbf{r})}{\partial x_l} + \frac{\partial u_l(\mathbf{r})}{\partial x_k} \right) , \tag{2}$$

а $u_k(\mathbf{r})$ – декартова координата отклонения частицы среды с радиус-вектором \mathbf{r} от положения равновесия. Для продольных звуковых волн в изотропной среде можно принять скалярный вид этого выражения:

$$\Delta a = pS \tag{3}$$

или учитывая малость изменения показателя преломления

$$\Delta n = -n^3 pS / 2 \tag{4}$$

p называют упругооптической постоянной.

В результате распространения плоской акустической волны в звукопроводе образуются периодические слои изменения показателя преломления, перемещающиеся со скоростью звука в случае бегущей волны или осциллирующие

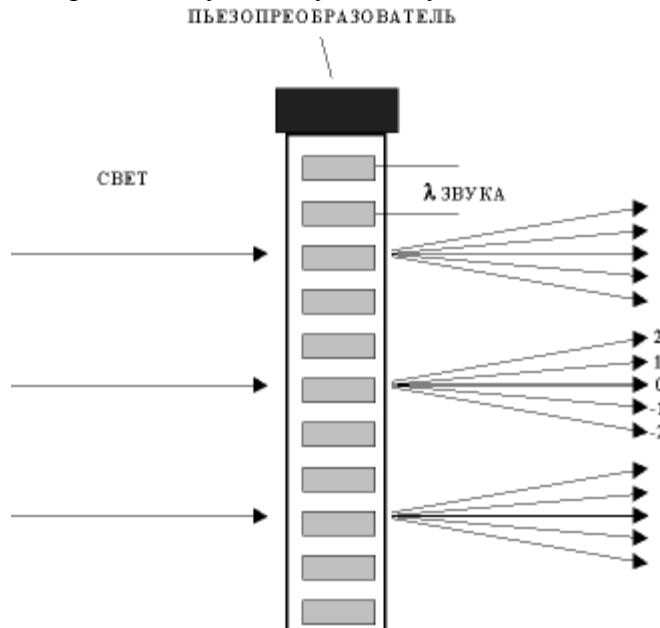


Рис.1. Дифракция света на ультразвуке. Цифрами изображены порядки дифракции.

для стоячей волны. Так как скорость звука намного меньше скорости света то в первом приближении для задачи дифракции света можно считать слои показателей преломления неподвижными и квазистационарными (т.е. за время прохода света через звукопровод они не успевают существенно сместиться (для бегущей волны) или изменить своё значение (стоячая волна).

Рассмотрим распространение световой волны параллельно слоям изменения показателя (фронтам акустической волны) преломления. В этом случае если пренебречь дифракцией света внутри звукопровода, что возможно если $l < \Lambda_{зв}^2 / \lambda$, l - длина пути света, $\Lambda_{зв}$ и λ длины волн звука и света, то на выходе из звукопровода световая волна приобретёт дополнительный набег фазы

$$\Psi(x) = (2\pi/\lambda)l\Delta n_{\max} \sin(2\pi x/\Lambda_{зв}) \quad (5)$$

Соответственно выражение для компоненты электрического поля на выходе из среды будет:

$$E(x) = E_0 \exp(-i(2\pi/\lambda)l\Delta n_{\max} \sin(2\pi x/\Lambda_{зв})) \quad (6)$$

Для малых набегов фаз экспоненту можно разложить в ряд Тейлора, оставив три первых члена и используя формулу для квадрата синуса имеем:

$$E(x) = E_0 (1 - i(2\pi/\lambda)l\Delta n_{\max} \sin(2\pi x/\Lambda_{зв}) - \frac{1}{2}((2\pi/\lambda)l\Delta n_{\max})^2 \sin^2(2\pi x/\Lambda_{зв}) + \dots) \approx \quad (7)$$

$$\approx E_0 (1 - \frac{1}{4}((2\pi/\lambda)l\Delta n_{\max})^2 - i(2\pi/\lambda)l\Delta n_{\max} \sin(2\pi x/\Lambda_{зв}) + \frac{1}{4}((2\pi/\lambda)l\Delta n_{\max})^2 \cos(4\pi x/\Lambda_{зв}))$$

Где E_0 комплексная напряженность электрического поля на выходе из среды, когда отсутствуют возмущения от звуковой волны. Таким образом мы видим, что в прошедшей волне имеется представляющая ослабленную исходную волну, и модулированные в плоскости перпендикулярной направлению распространения света по синусоидальному закону с периодами равными одинарной и половинной длине звуковой волны. Такие граничные условия соответствуют волнам дифрагировавшим под углами θ , определёнными соотношениями дифракции: $\sin \theta = m\lambda/\Lambda_{зв}$, m порядок дифракции, в данном случае $m = \pm 2, \pm 1, 0$. При учёте большего числа членов в разложении Тейлора будут проявляться и высшие порядки дифракции. Величина члена, соответствующего второму порядку, пропорциональна квадрату набегу фазы, поэтому для наблюдения порядков выше первого с существенной интенсивностью необходимы значительные набегу фазы, порядка 1 рад., т.е. относительно большие Δn (при сантиметровых размерах звукопровода около 10^{-4}).

Получить выражения для интенсивности дифрагировавшей волны можно непосредственной подстановкой в (7). Для первого порядка:

$$E^{(1)} = E_1 \exp(-i(k_z z + k_x x)) + E_{-1} \exp(-i(k_z z - k_x x)) = -iE_0 (2\pi/\lambda)l\Delta n_{\max} \sin(k_x x), \quad (8)$$

где $k_x = (2\pi/\Lambda_{зв})$. Расположив начало координат на выходе из среды получим:

$$E_1 = -E_{-1} = -\frac{(2\pi/\lambda)l\Delta n_{\max}}{2} E_0 \quad (9)$$

или для интенсивностей:

$$I_1 = I_{-1} = I_0 \frac{((2\pi/\lambda)l\Delta n_{\max})^2}{4} \quad (10)$$

2. Экспериментальная часть

2.1 Экспериментальная установка

Схема установки изображена на рис.2. В качестве источника излучения используется гелий-неоновый лазер (1) с длиной волны генерации 632,8 нм.. Свет пройдя модулятор падает на съёмный экран для наблюдения (на рисунке не показан) или же после выделения щелью измеряемого порядка дифракции на

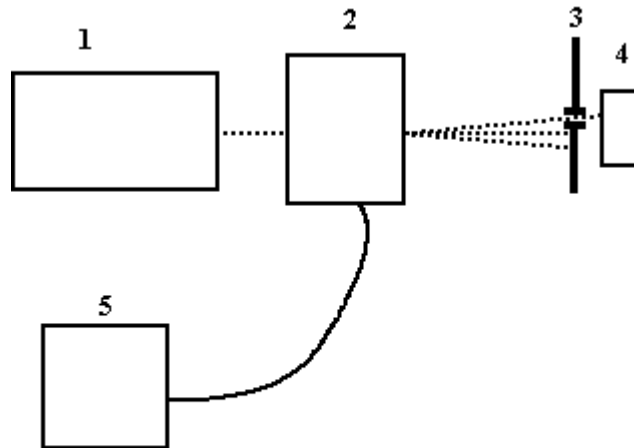


Рис.2. Схема установки.

фотодиод. Модулятор изготовлен из плавленного кварца (скорость звука 5970 м/с, показатель преломления 1,46, константа фотоупругости 0,20, плотность 2200 кг/м³. Блок питания модулятора (5) имеет на выходе синусоидальное напряжение с частотой 50 МГц и с регулируемой от 0 до 30 В амплитудой. Сигнал от фотодиода измеряется вольтметром.

2.2 Эксперимент

1. Проверить положение ручек и переключателей: “сеть” лазера и блока питания модулятора выключена, ручка регулировки выходного напряжения блока питания в крайнем левом положении.

2. Измерить угол дифракции. Для чего: установить экран. Включить лазер и блок питания модулятора. Установить на блоке питания модулятора напряжение 50 В. Измерить на экране расстояние между дифракционными максимумами и вычислить угол дифракции.

3. Снять модуляционную характеристику. для нулевого и первого порядков дифракции: установить щель в положение когда излучение соответствующее измеряемому порядку дифракции полностью попадало на фотодиод и с шагом по напряжению 5 В составить таблицу зависимости мощности излучения от напряжения на модуляторе.

4. Изерить интенсивность второго порядка дифракции.

5. Измерить длину рабочего участка кристалла по встроенной линейке.

2.3 Задание

1. Сравните найденные и теоретические углы дифракции.
2. Постройте график модуляционных характеристик.
3. Определите набег разности фаз, изменение показателя преломления и деформацию в среде модулятора при напряжении питания модулятора 50 В.

4. Найдите отношение интенсивностей первого и второго порядка дифракции.

3. Контрольные вопросы

1. Почему поле деформаций можно считать квазистационарным ?
2. Почему в акустооптических модуляторах применяют ультразвук возможно наиболее высокой частотой?
3. Каковы физические ограничения на быстродействие модулятора.