

## ИЗМЕРЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ АКУСТООПТИЧЕСКОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ В ИЗОТРОПНОМ ДИЭЛЕКТРИКЕ

Ю.М. Плахов

(представил д.т.н. проф. Л.Ф. Купченко)

Предлагается методика косвенного измерения параметров акустооптического взаимодействия: глубины модуляции коэффициента преломления в изотропном диэлектрике под действием ультразвуковой волны, а также эффективной протяженности пробега света в ультразвуковом поле. Оригинальность методики состоит в использовании различий свойств первого и второго порядков брэгговской дифракции света.

В связи с непрерывным ростом объема и интенсивности информационных потоков в различных отраслях науки и техники для обработки и хранения информации находят все более широкое применение когерентно-оптические системы, носителем информации в которых является модулируемый в пространстве и времени лазерный луч. Ввиду высокого соотношения производительность - стоимость, одним из наиболее перспективных типов пространственно-временных модуляторов света для таких систем считается акустооптический модулятор (АОМ), использующий явление брэгговской дифракции света на периодической структуре, образованной ультразвуковой волной в диэлектрике [1].

Известно, что дифракционная эффективность при падении света на фронт ультразвуковой волны под углом Брэгга  $\theta_B$  определяется как [2]

$$\eta_1 = \frac{I_1}{I_n} = \sin^2 \left( \frac{\Delta n}{n_0} \cdot \frac{k \cdot l'}{2} \right), \quad (1)$$

где  $I_n$ ,  $I_1$  - световой поток соответственно в падающем пучке и в 1-м дифракционном порядке;  $\Delta n$  - амплитуда модуляции коэффициента преломления  $n_0$  среды;  $k$  - волновое число света в среде;  $l'$  - эффективная протяженность пробега света в ультразвуковом поле.

Для проектирования акустооптических устройств на основе соотношения (1) представляется достаточным определить значение параметра

$$\beta = \frac{\Delta n}{n_0} \cdot k \cdot l', \quad (2)$$

который известен как параметр Рамана-Ната и может быть достаточно просто определен экспериментально [3].

В ряде исследований [4] отмечается, что при падении света под двойным углом Брэгга  $\theta_{2Б}$  угловая дисперсия АОМ увеличивается вдвое, а селективные свойства возрастают в 4 раза. Наличие таких особенностей в определенных случаях вызывает значительный интерес к подобному режиму работы АОМ.

Дифракционная эффективность при падении света на фронт ультразвуковой волны под двойным углом Брэгга при не слишком высокой интенсивности ультразвука может быть определена выражением [2]

$$\eta_2 = \frac{I_2}{I_n} = \sin^2 \left[ \left( \frac{\Delta n}{n} \right)^2 \cdot \frac{k^3 \cdot l \odot}{2 \cdot K^2} \right], \quad (3)$$

где  $I_2$  - световой поток во 2-м дифракционном порядке;  $K$  - волновое число образованной ультразвуком дифракционной решетки. Очевидно, что для практического использования выражения (3) необходимо знать такие параметры акустооптического взаимодействия как глубина модуляции коэффициента преломления  $\Delta n/n_0$  и эффективной протяженности пробега света в ультразвуковом поле  $l'$ . Вместе с тем, использование известных расчетных соотношений [5] для определения этих параметров через геометрические размеры и электрическую мощность, подводимую к АОМ, дает лишь самые приближенные значения и не позволяет учесть существенную зависимость параметров от частоты ультразвука.

Предлагаемая ниже методика измерения параметров акустооптического взаимодействия основывается на различии зависимости дифракционных свойств 1-го и 2-го порядков брэгговской дифракции от параметра  $\Delta n/n_0$  и от волнового числа ультразвуковой дифракционной решетки  $K$ . Измерение производится косвенным методом, путем сравнения световых потоков  $I_1$  и  $I_2$  при падении света под углами  $\theta_Б$  и  $\theta_{2Б}$  соответственно.

Учитывая частотную зависимость параметра  $\Delta n/n_0$  и считая его пропорциональным амплитуде напряжения  $U_{ЭАП}$  на электроакустическом преобразователе АОМ [5], можно записать:

$$\frac{\Delta n}{n_0} = S_{ЭМ}(F) \cdot K_{ЭМ}(F) \cdot U_{ЭАП}, \quad (4)$$

где  $S_{ЭО}$  - крутизна электрооптического преобразования, характеризующая приращение  $\Delta n$  на единицу напряжения  $U_{ЭАП}$ ;  $K_{ЭО}$  - нормированная амплитудно-частотная характеристика (АЧХ) электрооптического преобразования;  $F$  - частота ультразвука. Тогда с учетом (4) выражения (1) и (3) примут вид соответственно:

$$\eta_1 = \sin^2 \left( S_{ЭМ}(F) \cdot K_{ЭМ}(F) \cdot U_{ЭАП} \cdot \frac{k \cdot l \odot}{2} \right), \quad (5)$$

$$\eta_2 = \sin^2 \left( S_{ЭМ}^2(F) \cdot K_{ЭМ}(F) \cdot U_{ЭАП}^2 \cdot \frac{k^3 \cdot l \odot}{2 \cdot K^2} \right). \quad (6)$$

Предположим, что при неизменной частоте ультразвука  $F'$  при падении света под углом Брэгга и  $U_{ЭАП} = U_1$  получена дифракционная эффективность  $\eta_1$  такая же, как и при падении под двойным углом Брэгга при  $U_{ЭАП} = U_2$  (то есть  $\eta_1 = \eta_2$ ). Приравнивая правые части (5) и (6) для этого случая, и выражая волновое число  $K$  через частоту  $F$  и скорость ультразвука  $v$ , получим:

$$S_{ЭМ}(F') = \frac{U_1}{U_2^2} \cdot \frac{4\pi^2 \cdot F'^2}{k^2 \cdot v^2}. \quad (7)$$

Выражение (7) позволяет определить крутизну электрооптического преобразования, измерив при неизменной частоте ультразвука  $F'$  амплитуды напряжений возбуждения на электроакустическом преобразователе АОМ, при которых достигаются одинаковые значения светового потока в главных дифракционных порядках  $I_1 = I_2$  при углах падения света  $\theta_B$  и  $\theta_{2B}$ .

Для определения АЧХ электрооптического преобразования, учитывающейся в (4), необходимо измерить дифракционную эффективность  $\eta_1$  при падении света под углом Брэгга в диапазоне рабочих частот АОМ. Принимая во внимание выражение (1), можно показать, что нормированная АЧХ электрооптического преобразования  $K_{ЭО}(F)$  будет выражаться через значения измеренной дифракционной эффективности следующим образом:

$$K_{ЭМ}(F) = \frac{\left( \frac{\Delta n}{n_0} \right)_F}{\left( \frac{\Delta n}{n_0} \right)_{\max}} = \frac{\arcsin(I_1(F))}{\arcsin(I_{1\max})}. \quad (8)$$

Определив  $S_{ЭО}(F)$  и  $K_{ЭО}(F)$ , параметр  $\Delta n/n_0$  вычисляется в соответствии с (4) для любой частоты рабочего диапазона АОМ.

Величину эффективной протяженности пробега света в ультразвуковом поле  $l'$  можно определить, принимая во внимание выражение (1), из которого следует, что при максимуме дифракционной эффективности  $\eta_1=1$  должно выполняться равенство:

$$\frac{\Delta n}{n_0} \cdot \frac{k \cdot l \odot}{2} = \frac{\pi}{2}. \quad (9)$$

Очевидно, что в этом случае:

$$l \odot = \frac{\pi}{k \cdot \left( \frac{\Delta n}{n_0} \right)_1^{\max}}, \quad (10)$$

где  $\left( \frac{\Delta n}{n_0} \right)_1^{\max}$  - величина параметра  $\Delta n/n_0$ , обеспечивающая максимальный световой поток в 1-м дифракционном порядке при падении света под углом  $\theta_B$ .

Таким образом, с учетом приведенных рассуждений, методика измерения параметров акустооптического взаимодействия  $\Delta n/n_0$  и  $l'$  может заключаться в следующем.

1. При падении света под углом  $\theta_{2B}$ , при необходимых частотах ультразвука и напряжении возбуждения АОМ  $U_{ЭАП} = U_2$  измеряется световой поток  $I_2$ .

2. При падении света под углом  $\theta_B$  для тех же частот ультразвука фиксируется значение  $U_{ЭАП} = U_1$ , при котором световой поток  $I_1$  будет равен ранее измеренному значению  $I_2$ , и значение  $U_{ЭАП} = U_1^{\max}$ , при котором достигается максимальный уровень светового потока  $I_1$ .

3. Измеряется зависимость светового потока в 1-м дифракционном порядке от частоты ультразвука  $I_1(F)$ . После нормирования эта зависимость представляет собой АЧХ электрооптического преобразования  $K_{ЭО}(F)$ .

4. Для каждого значения частоты ультразвука последовательно вычисляются: крутизна электрооптического преобразования  $S_{ЭО}(F)$  с по-

мощью выражения (7); значение  $\left(\frac{\Delta n}{n_0}\right)_1^{\max}$  с помощью выражения (4);

значение параметра  $l'$  с помощью выражения (10).

5. Значение параметра  $\Delta n/n_0$  определяется с помощью выражения (4) для конкретных значений  $U_{\text{ЭАП}}$  и частот ультразвука.

Предложенная методика проверена автором в ходе физического эксперимента по исследованию свойств акустооптического взаимодействия под двойным углом Брэгга. При использовании в качестве фотоэлектрического преобразователя стандартного модуля на лавинном фотодиоде ЛФД-2 относительная погрешность измерения параметров акустооптического взаимодействия не превысила 15%.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Васильев А.А., Касасент Д., Компанец И.Н., Парфенов А.В. Пространственные модуляторы света. - М.: Радио и связь, 1987. - 320 с.

2. Properties of high order Bragg Resonances under Light Diffraction on Periodic Structures / Kupchenko L.F., Plahov Y.M., Reznichenko A.M. and others. // Proc. of the 2nd International Conf. on Antenna Theory and Techniques. - Kyiv. - 1997. - P.20-21.

3. Klein W.R., Cook Bill D. Unified approach to Ultrasonic Light Diffraction // IEEE. Transactions on sonics and ultrasonics. - 1967. - vol. SU-14, №3 - P.123-134.

4. Зильберман Г.Е., Сидоров И.П., Купченко Л.Ф. К теории дифракции света на ультразвуке // Радиотехника и электроника. - 1982. - т.27, №2. - С.241-247.

5. Бондаренко В.С., Зоренко В.П., Чкалова В.В. Акустооптические модуляторы света. - М.: Радио и связь, 1988. - 136 с.