

- [5] D ö h l e r G. et al. In.: Int. Electron Devices Meet, 1984. San-Fransisco, Calif., D.C., 1984. N.Y., p. 845-848.
- [6] D ö h l e r G. et al. In.: 12th Int. Conf. Infrared and Millimeter Waves, Lake Buena Vista, Fla., D.C., 1987, N.Y., p. 242-243.
- [7] D ö h l e r G., G a l l a g h e r D., M o - a t s R. In.: Int. Electron Devices, Meet., 1978, Washington, D.C., N.Y., p. 400-403.
- [8] Кузнецов С.П., Трубецков Д.И., Четвериков А.П. // Письма в ЖТФ. 1980. Т. 6. В. 19. С. 1164-1168.
- [9] Кузнецов С.П. и др. В кн.: Лекции по электронике СВЧ и радиофизике. Саратов: СГУ, 1981, кн. 1. С. 8-41.
- [10] Пищик Л.А., Трубецков Д.И., Четвериков А.П. В кн.: Электроника мм и субмм диапазона. Киев: Наукова думка, 1988. С. 127-134.
- [11] O n o S., T s u t a k i K., K a g e y a m a T. // Int. J. Electronics. 1984. V. 56. N 4. P. 504-519.
- [12] Z h o u L e - z h u et al. // Int. J. Electronics. 1984. V. 57. N 6. P. 1065-1076.
- [13] R a z e g h i M. et al. // Int. J. Electronics. 1985. V. 59. N 5. P. 533-542.
- [14] Гинзбург Н.С., Кузнецов С.П., Федосеева Т.Н. // Изв. вузов. Сер. Радиофизика, 1978. Т. 21, № 7. С. 1037-1053.
- [15] Кузнецов С.П., Четвериков А.П. // Изв. вузов. Сер. Радиофизика. 1981. Т. 24. № 1. С. 109-117.
- [16] Д м и т р и е в А.Ю. и др. В кн.: Лекции по электронике СВЧ и радиофизике. Саратов: СГУ, 1987, кн. 1. С. 63-104.
- [17] V i t e l l o P. // Int. J. Infrared and Millim. Waves. 1987. V. 8. N 5. P. 487-515.

Поступило в Редакцию
28 марта 1989 г.

Письма в ЖТФ, том. 15, вып. 14 26 июля 1989 г.
01; 08

ИССЛЕДОВАНИЕ ОБОБЩЕННОЙ АПЕРТУРНОЙ
ФУНКЦИИ АКУСТИЧЕСКОГО МИКРОСКОПА

Л.Д. Б а х р а х, С.А. Т и т о в

Важнейшей характеристикой сканирующего акустического микроскопа, определяющей его свойства как в режиме формирования изображений микрообъекта, так и в режиме измерения упругих параметров локальных областей его поверхности, является обобщенная апертурная функция. Она определяет отклик электроакустического

преобразователя микроскопа на воздействия с различными пространственными частотами и влияет как на его разрешающую способность, так и на величину выходного сигнала электроакустического преобразователя в зависимости от структурно-механических особенностей исследуемых объектов.

Получить сведения об апертурной функции позволяет способ, основанный на измерении модуляционной передаточной функции микроскопа [1, 2], заключающийся в регистрации выходного сигнала электроакустического преобразователя в зависимости от угла наклона плоского отражателя, помещенного в точку его фокуса. Измеряемая модуляционная передаточная функция $P(f_x, f_y)$ связана с обобщенной апертурной функцией $G(x, y)$ соотношением

$$P(f_x, f_y) = K \left| \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} G(x, y) G(f_x \lambda_0 F - x, f_y \lambda_0 F - y) dx dy \right|, \quad (1)$$

где f_x, f_y - пространственные частоты, λ_0 - длина волны ультразвука в иммерсионной жидкости, F - фокусное расстояние акустической линзы электроакустического преобразователя.

Из данного соотношения невозможно найти $G(x, y)$, можно сделать только некоторые качественные выводы относительно, например, ее ширины. Кроме того, этот способ является приближенным, т.к. основан на параксиальном приближении и не учитывает влияния на результаты измерения угловой зависимости коэффициента отражения ультразвуковой волны для материала отражателя.

Известно также [3], что возможно определить обобщенную апертурную функцию микроскопа путем измерения амплитуды и фазы выходного сигнала электроакустического преобразователя в зависимости от величины смещения из его фокальной плоскости отражателя с известными акустическими свойствами и последующего Фурье-преобразования полученной зависимости. Однако в этом случае невозможно измерить апертурную функцию в зависимости от азимутального угла; следовательно, результаты исследования электроакустического преобразователя, не обладающего осевой симметрией, являются недостоверными.

В данном сообщении предлагается прямой способ измерения обобщенной апертурной функции путем регистрации отклика электроакустического преобразователя, вызываемого плоской ультразвуковой волной, создающей в его фокальной плоскости распределение поля, пространственная частота которого зависит от угла падения волны. Ранее такой способ в акустической микроскопии не применялся, по-видимому, из-за того, что при его технической реализации возрастают требования к чувствительности и быстродействию радиочастотного тракта микроскопа.

Пусть волновой вектор \vec{k} этой волны в фокальной плоскости электроакустического преобразователя (x_0, y_0) имеет составляющие k_x, k_y , тогда распределение поля $u(x_0, y_0)$, создаваемое волной в этой плоскости, можно представить в виде

$$u(x_0, y_0) = U_0 \exp(i(k_x x_0 + k_y y_0)), \quad (2)$$

где U_0 - амплитуда волны.

Соответствующая этому распределению спектральная плотность $U(f_x, f_y)$ равна

$$U(f_x, f_y) = F \left\{ u(x_0, y_0) \right\} = U_0 \delta(2\pi f_x - k_x) \cdot \delta(2\pi f_y - k_y), \quad (3)$$

где δ - дельта-функция, а $F \{ \}$ - обозначает двумерное преобразование Фурье.

Известно [4], что обобщенная апертурная функция имеет смысл когерентной передаточной функции электроакустического преобразователя $H(f_x, f_y)$, связывающей спектральную плотность распределения поля в его фокальной плоскости со спектральной плотностью зависимости выходного сигнала преобразователя от координат сканирования (x_s, y_s) :

$$H(f_x, f_y) = K G(\lambda_0 F f_x, \lambda_0 F f_y). \quad (4)$$

Тогда спектральная плотность изображения $V(x_s, y_s)$, определяемого распределением поля (2), с учетом (3) и (4) равна

$$V(x_s, y_s) = K U_0 G(\lambda_0 F f_x, \lambda_0 F f_y) \times \delta(2\pi f_x - k_x) \cdot \delta(2\pi f_y - k_y). \quad (5)$$

Отсюда:

$$V(x_s, y_s) = K_2 G\left(\lambda_0 F \frac{k_x}{2\pi}, \lambda_0 F \frac{k_y}{2\pi}\right) \cdot \exp(i(k_x x_s + k_y y_s)). \quad (6)$$

Поскольку в данном случае используется несканирующий режим, можно положить $x_s = y_s = 0$. Следовательно:

$$V(0, 0) = K_2 G\left(F \frac{k_x}{k_0}, F \frac{k_y}{k_0}\right). \quad (7)$$

Таким образом, меняя направление распространения плоской волны по отношению к акустической оси электроакустического преобразователя, можно измерить его обобщенную апертурную функцию.

Было проведено измерение модуля обобщенной апертурной функции электроакустического преобразователя микроскопа с рабочей частотой 520 МГц (рис. 1). Импульсный радиосигнал, вырабатываемый генератором 1, возбуждал пьезоэлектрический преобразователь 2, который излучал плоскую продольную ультразвуковую волну, распространяющуюся вдоль звукопровода 3 и проходившую частично в иммерсионную жидкость 4, в качестве которой для уменьшения потерь использовалась ртуть. Затем эта плоская волна принималась исследуемым электроакустическим преобразователем, состоящим из акустической линзы 5 с фокусным расстоянием $F = 1.23$ мм и диаметром апертуры $D_A = 2.02$ мм, звукопровода 6 длиной $L = 20$ мм и пьезопреобразователя 7 диаметром $D = 0.9$ мм. Принятый этим электроакустическим преобразователем полезный сигнал выделялся на фоне помех и сигналов переотражений селектором 8 и регистрировался приемным устройством 9. В качестве приемного устройства, селектора и генератора зонди-

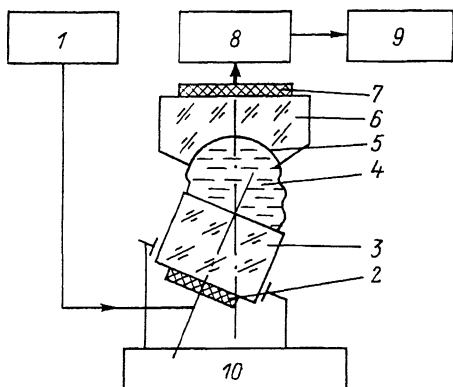


Рис. 1. Схема измерения обобщенной апертурной функции: 1 - радиогенератор, 2, 7 - пьезопреобразователи, 3, 6 - звукопроводы, 4 - иммерсионная жидкость, 5 - акустическая линза, 8 - селектор, 9 - приемное устройство, 10 - механизм поворота излучателя.

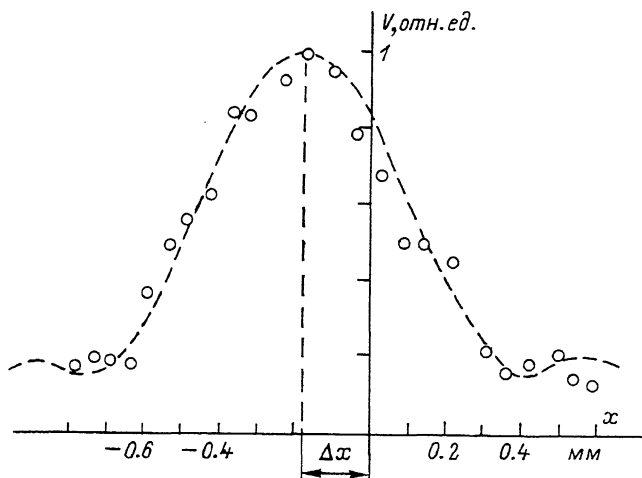


Рис. 2. Обобщенная апертурная функция: кружки - эксперимент, пунктир - расчет.

рующего сигнала использовались приемо-передающие устройства микроскопа, работающего в обычном режиме. Поворот излучателя плоских волн в двух плоскостях осуществлялся с помощью механизма 10.

Результаты измерения обобщенной апертурной функции представлены на рис. 2. Видно, что измеренная функция существенно смещена по отношению к акустической оси электроакустического преобразователя, что может вызываться, например, погрешностью взаимного расположения преобразователя и линзы. Поскольку радиус пре-

образователя был выбран существенно меньшим радиуса линзы, то обобщенная апертурная функция определяется не функцией зрачка акустической линзы, а распределением поля пьезообразователя в ее задней фокальной плоскости. В связи с этим был произведен расчет распределения поля в плоскости, удаленной на расстояние L от поршневого круглого излучателя с радиусом, равным радиусу преобразователя. Как видно из сравнения экспериментальных данных и расчетной кривой, смещенной относительно акустической оси на величину $\Delta x = 0.17$ мм, наблюдается удовлетворительное соответствие.

С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] A t a l a r A. // Electron. lett. 1979. V. 15. N 11. P. 321-323.
- [2] Кулаков М.А., Морозов А.И. // Письма в ЖТФ. 1984. Т. 10. В. 16. С. 984-988.
- [3] L i a n g K.K., K i n o G.S., K h u r i - Y a k u b B.T. // IEEE Trans. 1985. V. SU-32. N 2. P. 213-224.
- [4] Гудмен Дж. Введение в фурье-оптику. М., 1970. 364 с.

Московский институт радиотехники,
электроники и автоматики

Поступило в Редакцию
27 апреля 1989 г.

Письма в ЖТФ, том 15, вып. 14
07

26 июля 1989 г.

ГОЛОГРАФИЧЕСКАЯ ЭЛЕКТРОГИРАЦИЯ В КУБИЧЕСКИХ КРИСТАЛЛАХ $Bi_{12}TiO_{20}$

М.С. Б р о д и н, В.И. В о л к о в,
Н.В. К у х т а р е в, А.В. П р и в а л к о

Самодифракция когерентных световых волн в различных нелинейных средах широко используется для усиления и обработки изображений [1, 2], для реализации адаптивной голографической интерферометрии [3] и других применений динамической голографии [4].

Актуальной задачей динамической голографии является поиск новых механизмов записи и регистрирующих сред, повышающих эффективность взаимодействия волн.

Ниже описан новый механизм записи динамических голограмм (самодифракционная (голографическая) электрогирация), реализованный в кристалле класса симметрии $23 Bi_{12}TiO_{20}$.