

08;07;09

## ШИРОКОПОЛОСНЫЕ АКУСТООПТИЧЕСКИЕ ГИПЕРЗВУКОВЫЕ БРЭГГОВСКИЕ ЯЧЕЙКИ

© В.В.Петров

Информационная емкость систем оптической обработки информации с использованием акустооптических (АО) брэгговских ячеек определяется в основном абсолютной полосой частот таких ячеек. Полоса частот АО ячейки, обеспечивающей высокое частотное разрешение (дефлектора) при использовании одноэлементного преобразователя, определяется расходимостью звукового пучка, а апертура светового пучка в этом случае выбирается, как правило, достаточно большой, так что его расходимость дает ничтожный вклад в полосу частот. Расширение полосы частот путем увеличения расходимости звукового пучка (т.е. за счет сокращения протяженности АО взаимодействия) ведет к уменьшению дифракционной эффективности. Известны способы расширения полосы частот дефлекторов использованием анизотропной брэгговской дифракции [1,2], дифракции света в условиях АО резонанса [3], а также применением многоэлементных фазированных решеток [4-7], реализующих автоподстройку звукового пучка под угол Брэгга. Однако эти методы, хотя и дают некоторый выигрыш в полосе частот [7], все же не обеспечивают точного выполнения условия Брэгга в заданной полосе, что также ведет к необходимости ограничивать длину преобразователя и соответственно дифракционную эффективность.

В настоящей работе предлагается и анализируется возможность дополнительного существенного расширения полосы частот брэгговских акустооптических устройств за счет создания такой системы многоэлементных преобразователей, которая обеспечивает точную автоподстройку фронта звуковой волны под угол Брэгга в требуемой полосе частот  $\Delta f = f_{\max} - f_{\min}$ . При этом снимается ограничение на длину преобразователя  $L$ , связанное с несоответствием частотного закона сканирования звукового пучка и брэгговского условия; эти ограничения теперь могут лишь касаться проблем электрического согласования, геометрии рассеяния и др.

На рис. 1 представлена схема акустооптической брэгговской ячейки, реализующей один из вариантов "точной" коррекции угла наклона фронта звуковой волны с изменением

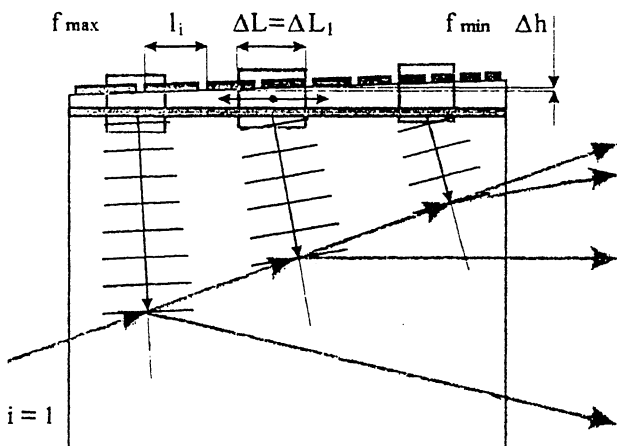


Рис. 1. Точная автоподстройка под угол Брэгга с помощью многоэлементного преобразователя с переменными параметрами. Модель "движущегося окна".

частоты  $f$  в соответствии с условием Брэгга. Многоэлементный преобразователь в такой ячейке представляет собой систему с переменными параметрами: шагом структуры  $l_i$  и толщиной пьезослоя  $h$ . Следуя подходу, предложенному в работе [5], предполагая, что на некотором малом участке длины  $\Delta L$  решетки ее шаг изменяется незначительно (на малую величину  $\delta l$ ), для случая изотропного АО взаимодействия можно получить формулу для нахождения частотной зависимости шага структуры, обеспечивающего сканирование фронта звуковой волны в точном соответствии с условием Брэгга

$$l = \varphi_m V / 2\pi f \sin \left\{ \Theta_{0i} + (-1)^i \arcsin(\lambda_0 f / 2n_0 V) \right\}, \quad (1)$$

где  $\Theta_{0i}$  — угол падения, а индекс  $i$  обозначает направление падения светового пучка по отношению к фронту звуковой волны: "к преобразователю" и "навстречу звуковой волне", когда  $i = 1$ , и "от преобразователя" и "по звуковой волне", когда  $i = 2$ ;  $\varphi_m$  — сдвиг фазы на элемент для  $m$ -й пространственной гармоники акустического поля, возбуждаемого многоэлементным преобразователем;  $V$  — скорость звуковой волны в кристалле;  $\lambda_0$  и  $n_0$  — длина световой волны в вакууме и показатель преломления для кристалла соответственно. В таком преобразователе для любого малого участка  $\delta f$  рабочего диапазона найдется область преобразователя  $\Delta L$ , на которой шаг системы изменяется на  $\delta l$

и которая будет излучать акустическую энергию в направлении, соответствующем условию Брэгга. При этом указанная область  $\Delta L$  будет перемещаться от начала решетки к ее концу при изменении частоты от  $f_{\min}$  до  $f_{\max}$ . Такую геометрию можно назвать "моделью движущегося окна". Очевидно, что в акустооптическом взаимодействии будет принимать участие лишь часть акустического пучка, ограниченная участком  $\Delta L$ . При этом если пьезослой электроакустического преобразователя имеет одинаковую толщину по всей длине и рассчитан таким образом, что обеспечивает столь же широкую полосу, что и требуемая полоса АО взаимодействия, то часть излучаемой акустической энергии, не участвующая во АО взаимодействии, будет теряться, подобно тому как это происходит в АО ячейках с одноэлементным преобразователем, возбуждающим сильно расходящийся акустический пучок, что, безусловно, повлияет на эффективность АО взаимодействия. По этой причине для обсуждаемой системы с переменным шагом наиболее логичным является использование пьезопреобразователя, имеющего плавно или ступенчато изменяющуюся по длине толщину пьезослоя.

Такой пьезопреобразователь должен быть рассчитан так, чтобы для каждого малого участка частотного диапазона  $\delta f$  возбуждение акустической энергии происходило в окне длиной  $\Delta L_1 = \Delta L$ . При этом закон изменения толщины пьезослоя  $h(f)$  должен обеспечивать согласованное движение вдоль системы окна  $\Delta L$ , открывающего часть решетки, и окна  $\Delta L_1$ , на котором толщина пьезослоя изменяется на  $\Delta h$ . При таком подходе выбор полной длины преобразователя  $L$  определяется уже не требуемой шириной полосы частот  $\Delta f = f_{\max} - f_{\min}$ , а оптимальным выбором параметров  $\delta f$ ,  $\Delta L$ ,  $\Delta L_1$ ,  $\Delta h$  и  $\delta l$ . Дифракционная эффективность в этом случае будет определяться длиной участка  $\Delta L$ , которая может быть выбрана достаточно протяженной.

На рис. 2 приведен пример зависимостей, рассчитанных по формуле (1) для шага как функции частоты в случае использования противофазного многоэлементного преобразователя с переменными параметрами для обеспечения полосы частот АО взаимодействия в 3 ГГц (от 1 до 4 ГГц). Кривые рассчитаны для двух вариантов падения световой волны ( $i = 1$ ) и ( $i = 2$ ) для трех значений угла падения:  $\Theta_0 = 0$  (при  $i = 2$ );  $\Theta_0 = \Theta_b (f = 4.1 \text{ ГГц})$  и  $\Theta_0 = \Theta_b (f = 5.1 \text{ ГГц})$ , где  $\Theta_b$  — угол Брэгга для соответствующей частоты.

Из анализа полученных кривых следует, что максимальные значения шага структуры могут быть получены, когда для  $i = 1$  угол падения незначительно превышает угол Брэгга на максимальной частоте рабочего диапазона ( $\Theta_0 = \Theta_b (f = 4.1 \text{ ГГц})$ ). При меньших углах падения, как следует из формулы (1), шаг структуры может принимать 0 и отрицательные значения. При увеличении угла

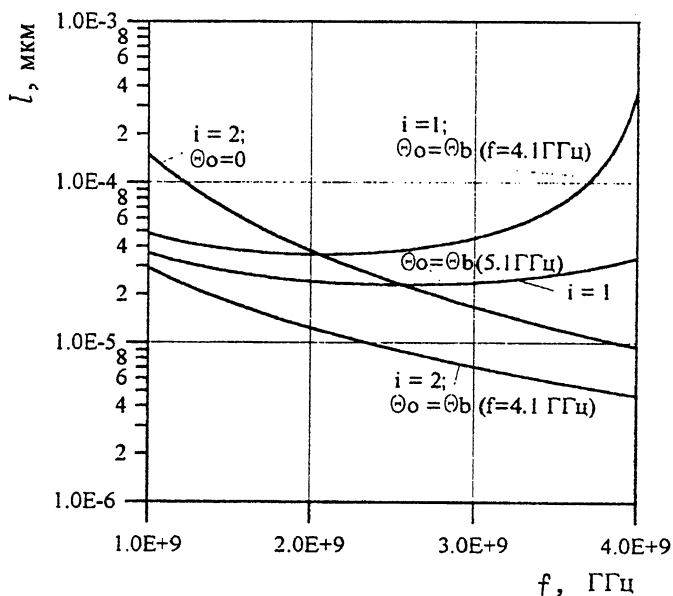


Рис. 2. Шаг многоэлементного противозападного преобразователя, как функции частоты.

падения шаг структуры тоже начинает уменьшаться: например, для  $\Theta_0 = \Theta_b (f = 5.1 \text{ ГГц})$  шаг уменьшается от полутора раз на низкочастотном крае до десяти раз на высокочастотном крае диапазона, однако при этом кривая приобретает симметричный характер и перепад значений шага структуры оказывается не столь значительным (не более двух раз) во всем рабочем диапазоне частот, что говорит о возможности получения более высокой дифракционной эффективности. Для случая  $i = 2$  шаг структуры принимает максимальные значения, когда угол падения равен 0. При увеличении угла падения (например, до значения, соответствующего углу Брэгга на частоте 4.1 ГГц), шаг структуры уменьшается от нескольких десятков раз на низкочастотном крае рабочего диапазона до двух раз на высокочастотном крае диапазона при незначительном уменьшении перепада значений на краях диапазона.

В заключение отметим, что предложенных в работе метод точной автоподстройки звукового пучка под угол Брэгга посредством использования многоэлементных преобразователей с изменяющимися параметрами позволяет значительно расширить полосу частот акустооптического взаимодействия при возможности увеличения дифракционной эффективности.

## Список литературы

- [1] *Dixon R. W.* // IEEE J. 1967. V. QE-3. N 2. P. 85-93.
- [2] *Леманов В.В., Шакин О.В.* // ФТТ. 1972. Т. 14. № 1. С. 229.
- [3] *Petrov V., Gur'ev B., Kolosov V., Kuryshov S., Lapin S., Sapriel J.* // Photonics and Optoelectronics. 1994. V. 2. M 3. P. 97-103.
- [4] *Korpel A., Adler R., Desmares P., Watson W.* // Proc. IEEE. 1966. V. 54. N 10. P. 1429-1437.
- [5] *Григорьев М.А., Зюрюкин Ю.А., Петров В.В., Толстиков А.В.* // Изв. вузов. Радиофизика. 1982. Т. XXV. № 8. С. 948-957.
- [6] *Petrov V.* // Ultrasonics International'93. Conference Proceedings. 6-8 July, 1993. Vienna, Austria.
- [7] *Петров В.В.* Энергетический выигрыш от использования многоэлементных преобразователей в СВЧ акустооптических дефлекторах: Некоторые вопросы прикладной физики. Саратов: Изд-во Саратов. ун-та, 1985. С. 1-9.

Саратовский  
государственный  
университет

Поступило в Редакцию  
13 мая 1996 г.