

07;08

## **Перестраиваемый акустический резонатор на фотоиндуцированной решетке в ниобате лития**

© Н.Л. Батанова, А.В. Голенищев-Кутузов,  
В.А. Голенищев-Кутузов, Р.И. Калимуллин, А.Е. Усачев

Казанский государственный энергетический университет  
E-mail: kalru@newmail.ru

Поступило в Редакцию 11 июля 2008 г.

Экспериментально продемонстрирована возможность использования фотоиндуцированных решеток, сформированных в монокристалле ниобата лития, в качестве высокочастотных перестраиваемых резонаторов поверхностных и объемных акустических волн. Показана возможность перестройки резонансной частоты в широких пределах (10–20%) с помощью перезаписи решетки интерферирующим лазерным пучком.

PACS: 43.35.Pt

Высокочастотные фильтры, линии задержки и генераторы радиочастотных сигналов с использованием поверхностных и объемных акустических волн (АВ) уже нашли широкое применение в системах передачи и обработки информации. Наибольшее распространение получили устройства на основе резонансных периодических структур, состоящих из чередующихся металлических полосок или геометрических структур, выгравированных на поверхности пьезоэлектрика. Такие периодические структуры позволяют достигать частот поверхностной АВ до 2–3 GHz и имеют добротность  $Q$  порядка  $10^4$ – $3 \cdot 10^4$  [1]. Наиболее используемый способ перестройки состоит в приложении к пьезоэлектрику внешнего

электрического поля, что позволяет достичь относительного изменения резонансной частоты не более чем на  $5 \cdot 10^{-4}$  при предпробойных полях [2]. Поэтому такой способ перестройки эффективен только для высокодобротных резонаторов с  $Q \geq 10^4$ . Примерно такую же полосу перестройки можно реализовать путем локального нагрева резонансной части звукопровода. К недостаткам этого способа относятся инерционность (2–5 мин) и зависимость от температуры окружающей среды. Кроме этого, оба способа перестройки предполагают наличие блоков питания напряжением 5–10 кВ для электрической перестройки или мощностью 10–20 Вт для термической перестройки. Помимо подобных высокодобротных резонаторов с относительно малой перестройкой в ряде электронных устройств необходимы акустические резонаторы со значительно большей полосой перестройки, хотя и с меньшими значениями добротности.

В статье предлагается новый способ построения и реализации акустических фильтров с широкой полосой перестройки, основанный на использовании фотоиндуцированных решеток в сегнетоэлектрических кристаллах, обладающих большим пьезоэффектом. Фотоиндуцированные структуры, создающиеся посредством облучения поверхности образца двумя интерферирующими лазерными пучками, образуют слои с различными скоростями распространения АВ. Совокупность слоев (решетка) обладает резонансными свойствами на частотах  $f_m = Vm/(2d)$ , где  $V$  — скорость АВ;  $d$  — период решетки;  $m = 1, 2, 3, \dots$  [3,4]. Поскольку в наши дни значение  $d$  можно изменять в пределах от 0.02 до  $100 \mu\text{m}$ , возникает возможность перекрытия частотного диапазона для АВ в пределах от 30 до 2000 МГц. При условии, что длина волны  $\lambda = 2d$ , возникает брэгговское отражение АВ от решетки с коэффициентом

$$R = \sin^2\left(\pi \frac{\Delta V}{V} \frac{L}{d}\right),$$

где  $\Delta V = V(E) - V(0)$  — изменение скорости АВ под действием пространственного периодического фотоиндуцированного электрического поля;  $L$  — длина решетки. Добротность отражательного фильтра также определяется отношением  $L/d$  и возрастает с уменьшением периода решетки.

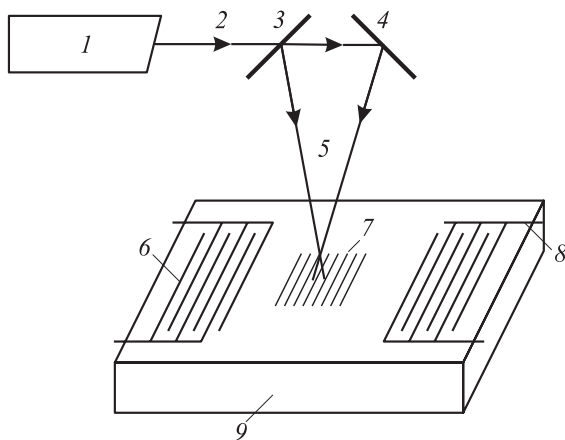
Функциональная схема акустического фильтра состоит из рабочего элемента, содержащего решетку, лазера с двумя зеркалами, формирующими решетку, входного и выходного пьезопреобразователей. Перестройка резонансной частоты фильтра осуществляется изменением

юстировки формирующих зеркал и тем самым изменением периода решетки.

Процесс фотоиндуцированного формирования периодической структуры состоит в лазерном облучении поверхности монокристалла, обладающего сильным пьезоэффектом и одновременно фоторефрактивным эффектом. Под действием лазерного пучка с интерференционной структурой в приповерхностном слое на глубину до 0.5 mm образуется периодическая структура, состоящая из слоев, подвергнутых и неподвергнутых лазерному воздействию. Относительное изменение скорости АВ в оптически облученных слоях может достигать значений  $10^{-4}$ – $10^{-3}$  по сравнению с необлученными слоями. Стирание ранее сформированной структуры осуществляется путем ее облучения однородным по площади пучком того же лазера. Перестройка резонансной частоты фильтра осуществляется путем стирания ранее сформированной структуры в приповерхностном слое звукопровода и формирования новой структуры с требуемой резонансной частотой. При этом спектр резонансных частот будет определяться требуемым частотным диапазоном широкополосных входного и выходного преобразователей.

Ранее уже были предложены перестраиваемые оптические фильтры на фотоиндуцированных решетках, но только с электрическим управлением. Предложенный нами метод не пригоден для оптических фильтров, поскольку сами оптические сигналы будут частично или полностью стирать записанные решетки, и поэтому в оптических фильтрах используются устойчивые к оптическому воздействию сигналы. Однако, как показали эксперименты [5,6], фотоиндуцированные решетки устойчивы к воздействию акустических волн в отсутствие каких-либо других разрушающих влияний (нагрев выше  $100^{\circ}\text{C}$ , сильные электрические поля и вибрации).

Рис. 1 представляет схему эксперимента по изучению резонансных акустических свойств фотоиндуцированных решеток. В качестве звукопровода использовался монокристалл  $\text{LiNbO}_3$ , содержащий 0.05 wt.% Fe с отношением ионов  $\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}^{3+} = 0.3$ , в виде прямоугольного параллелепипеда с размерами  $5 \times 2 \times 20 \text{ mm}$  ( $X \times Y \times Z$ ), с направлением поляризации вдоль длинной оси. Вблизи торцов образца на поверхности у-среза были расположены два встречно-штыревых преобразователя с центральной частотой 65 MHz и полосой пропускания порядка 10 MHz. Формирование фотоиндуцированных решеток производилось второй гармоникой ( $\lambda = 532 \text{ nm}$ ) YAG:Nd лазера в течение 60–100 s. Мощность импульсов составляла порядка 1 MW при длительности 40 ns.

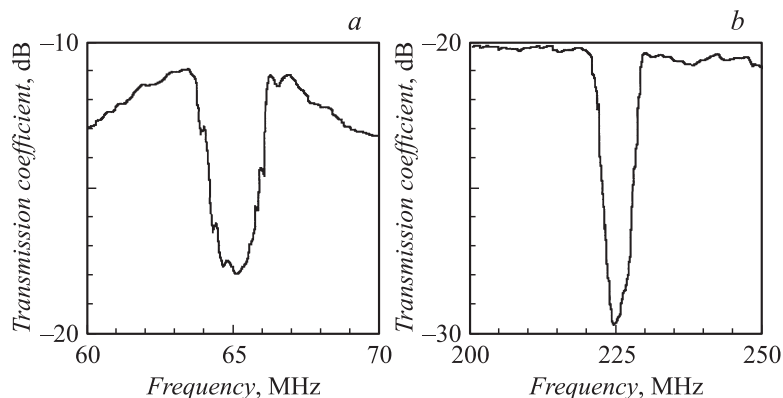


**Рис. 1.** Перестраиваемый акустический фильтр: 1 — лазер; 2 — первичный лазерный пучок; 3 — полупрозрачное зеркало; 4 — поворотное непрозрачное зеркало; 5 — интерферирующий лазерный пучок; 6 — входной встречно-штыревой преобразователь; 7 — сформированная периодическая структура; 8 — выходной встречно-штыревой преобразователь; 9 — пьезоэлектрический звукопровод.

Периодическая структура была устойчива к изменениям температуры в диапазоне  $0-100^{\circ}\text{C}$ , воздействию внешних электрических полей до  $10^6\text{ V/m}$  и к распространяющимся акустическим сигналам. Стирание ранее сформированной периодической структуры происходило только при воздействии однородного по структуре пучка того же лазера за  $200-150\text{ s}$ .

В ходе экспериментов было установлено отражение импульсов поверхностных АВ, генерируемых и детектируемых широкополосными преобразователями на резонансных частотах в рабочем диапазоне преобразования  $60-70\text{ MHz}$ . Коэффициент относительного отражения  $R$  для поверхностных АВ составлял порядка 0.3 для 200 периодов структуры (рис. 2, *a*), что удовлетворяет параметрам решетки при соотношении  $T^2 = 1 - |R|^2$  (где  $T$  — коэффициент прохождения).

При использовании коаксиальных широкополосных преобразователей было исследовано распространение объемных АВ через сформированные фотоиндуцированные решетки в диапазоне частот  $200-250\text{ MHz}$  (рис. 2, *b*). Коэффициент относительного отражения  $R$  для поверхностных АВ составил порядка 0.4.



**Рис. 2.** Частотная зависимость коэффициента прохождения через акустический резонатор в диапазоне: *a* — 60–70 MHz; *b* — 200–250 MHz.

Таким образом, нами был развит и продемонстрирован метод частотной перестройки резонатора на поверхностных и объемных АВ с помощью фотоиндуцированных решеток в ниобате лития.

Возможность использования малогабаритных лазеров с малым энергопотреблением позволяет полагать, что фотоиндуцированные решетки, формируемые и стираемые лазерным пучком, могут найти широкое применение в ряде устройств с перестраиваемыми акустическими резонаторами.

Работа поддержана грантами РФФИ 04-02-97500-р\_офи и 08-02-00434-а.

## Список литературы

- [1] Гуляев Ю.В. // УФН. 2005. Т. 175. № 8. С. 887–895.
- [2] Дмитриев В.Ф., Мансфельд Г.Д., Пустовойт В.И. // ЖТФ. 2007. Т. 77. В. 8. С. 101–108.
- [3] Батанова Л.Н., Голенищев-Кутузов А.В. // Акуст. журн. 1997. Т. 43. № 4. С. 545–547.
- [4] Ушаков Н.М., Колосов В.В. // Письма в ЖТФ. 2001. Т. 27. В. 24. С. 40–45.
- [5] Hikriede J., Runde D., Kip D. // J. Phys. D: Appl. Phys. 2003. V. 36. P. 1–16.
- [6] Петров М.П., Шамрай А.В., Козлов А.С., Шмичев И.В. // Письма в ЖТФ. 2004. Т. 30. В. 3. С. 75–81.