

08;12

## **Перестраиваемый акустический резонатор на периодических доменных структурах**

© А.В. Голенищев-Кутузов, В.А. Голенищев-Кутузов,  
Р.И. Калимуллин, А.А. Потапов

Казанский государственный энергетический университет  
E-mail: aapot@ya.ru

Поступило в Редакцию 10 апреля 2012 г.

Продемонстрирована возможность применения фотоиндуцированных доменных структур, сформированных в кристаллах ниобата лития в качестве высокочастотных пространственных резонаторов поверхностных и объемных акустических волн.

Высокочастотные узкополосные перестраиваемые по частоте акустические резонаторы весьма перспективны при создании акустических фильтров и генераторов для нового поколения систем передачи и обработки информации. До настоящего времени наибольшее распространение получили устройства на основе резонансных периодических структур, состоящих из чередующихся металлических полосок или геометрических фигур, выгравированных на поверхности пьезоэлектрика. Такие периодические структуры позволяют создавать поверхностные акустические волны (ПАВ) с частотой до 2–3 GHz и имеют добротность порядка  $3 \cdot 10^4$  [1,2]. Примерно такими же параметрами обладают и тонкопленочные резонаторы на объемных акустических волнах [3]. Наиболее используемые способы перестройки частоты состоят в приложении к пьезоэлектрику статического электрического поля или в

изменении температуры [2], что позволяет достичь относительного изменения резонансной частоты не более чем на  $5 \cdot 10^{-4}$ . Поэтому такой способ перестройки эффективен только для высокочастотных резонаторов, например для резонаторов оптического диапазона [4].

Тем не менее во многих устройствах необходимо использование акустических резонаторов со значительно большим диапазоном перестройки, хотя и с меньшими значениями добротности. В последние годы появились работы, в которых в качестве акустических резонаторов стали использоваться индуцированные периодические структуры в виде фотоиндуцированных решеток [5] или периодических доменных структур [6,7]. Периодическая доменная структура (ПДС) выполнена в виде системы сегнетоэлектрических доменов с противоположными знаками пьезоэлектрических коэффициентов, обладающих требуемой резонансной частотой  $f_m$

$$f_m = \frac{Vm}{2d}, \quad (1)$$

где  $V$  — скорость ПАВ,  $m = 1, 2, 3, \dots, d$  — размер домена.

Замена однородного по физическим свойствам образца на образец с ПДС позволяет достичь значений коэффициентов отражения  $R$  от резонансной доменной структуры

$$R = \frac{k^2}{k^2 + \sin^2(qd) / \sin^2(2Nqd)}, \quad (2)$$

где  $k^2 = e^e / (c\varepsilon)$  — параметр электромеханической связи,  $e$  — пьезоэлектрический модуль,  $c$  — модуль упругости,  $\varepsilon$  — коэффициент диэлектрической проницаемости,  $q$  — волновое число,  $N$  — число периодов доменной структуры.

При  $N \geq 100$  коэффициент отражения будет приближаться к единице, а ширина резонансного пика ( $\delta f \sim N^{-1}$ ) будет соответствовать добротности до  $10^4$  на частотах  $10^8 - 10^9$  Hz.

В работах [6,7] рассматривались резонансные свойства ПДС только на фиксированных частотах без изучения возможностей их перестройки. В данной статье предлагается новый способ построения акустических резонаторов с широкой полосой перестройки, основанной на использовании разработанного в последние годы [8,9] лазерно-электрического способа формирования сегнетоэлектрических доменов. Более того, с помощью подбора концентрации примесных ионов (Mg, Fe, Er) и перехода

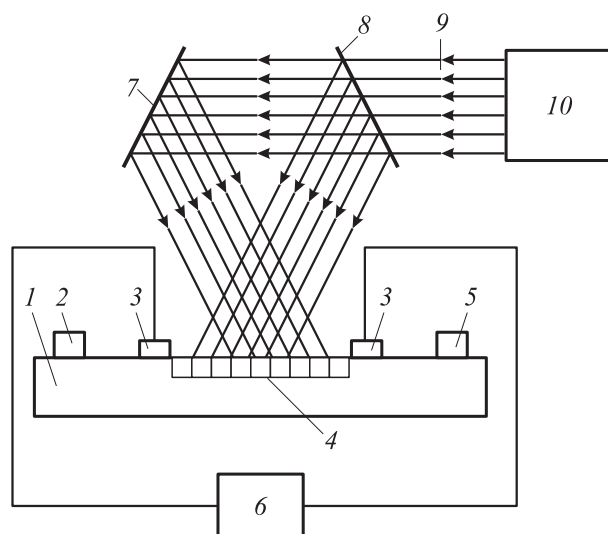
от конгруэнтных образцов к стехиометрическим сегнетоэлектриками удалось значительно (в несколько раз) понизить коэрцитивное поле для ниобата и танталата лития.

Процесс формирования периодической доменной структуры состоит в лазерном облучении поверхности монокристалла, обладающего сильным пьезоэффектом и фоторефрактивным эффективным, с одновременным приложением к нему статического электрического поля. К такому классу материалов относятся сегнетопьезоэлектрики типа ниобата лития или титаната бария. Под действием лазерного пучка с интерференционной структурой в приповерхностном слое образуется структура периодически изменяющегося по напряженности фотоиндуцированного поля. Прикладываемое внешнее электрическое поле должно быть направлено навстречу полю спонтанной поляризации. При одновременном воздействии внешнего электрического поля и фотоиндуцированного поля, которые в сумме превышают коэрцитивное поле кристалла, возникают области локальной переполаризации в виде доменной структуры.

Период сформированной в приповерхностном слое на глубину до 0.5 мкм доменной структуры, т.е. сумма ширин облученного и необлученного слоев, определяется углом между интерферирующими лазерными пучками и может варьироваться в пределах от 0.2 до 100 мкм и, таким образом, перекрывает диапазон частот ПАВ в соответствии с выражением (1) от десятков мегагерц до гигагерц. Стирание ранее сформированной доменной структуры осуществляется путем ее облучения однородным по площади пучком того же лазера и одновременным приложением внешнего электрического поля в направлении спонтанной поляризации, т.е. в направлении, противоположном направлению внешнего поля при формировании структуры. Согласно нашему предложению, перестройка резонансной частоты фильтра осуществляется путем стирания ранее сформированной структуры в приповерхностном слое звукопровода и формирования новой структуры с необходимой резонансной частотой. При этом интервал резонансных частот будет определяться частотным диапазоном широкополосных входного и выходного преобразователей.

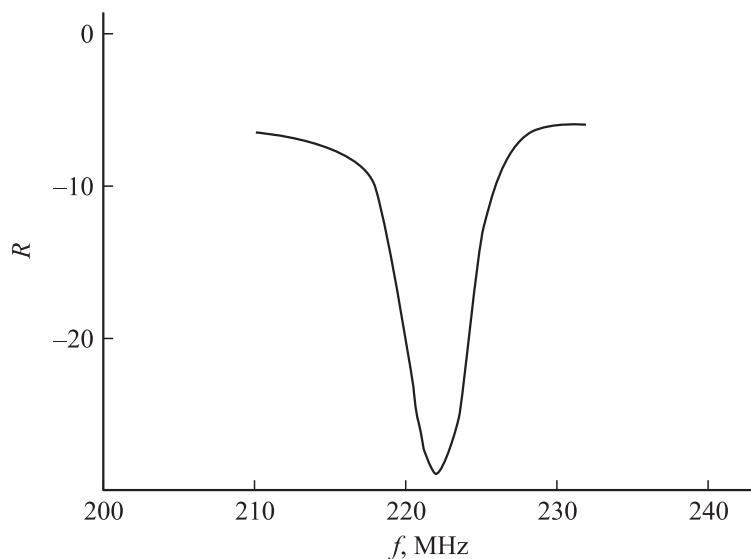
На рис. 1 представлена функциональная схема перестраиваемого акустического резонатора. В качестве звукопровода использовался монокристалл  $\text{LiNbO}_3$ , содержащий 0.05 wt.% Fe с отношением концентрации ионов  $\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}^{3+} = 0.3$  в виде плоскопараллельной пла-

1\* Письма в ЖТФ, 2012, том 38, вып. 18



**Рис. 1.** Перестраиваемый акустический резонатор: 1 — звукопровод; 2 — входной широкополосный преобразователь; 3 — электроды для приложения электрического поля; 4 — индуцированная периодическая доменная структура; 5 — выходной широкополосный преобразователь; 6 — источник статического электрического поля; 7 — непрозрачное зеркало; 8 — полупрозрачное зеркало; 9 — оптический пучок; 10 — лазер.

стины  $2 \times 3 \times 25 \text{ mm}$  ( $x \times y \times z$ ) с направлением спонтанной поляризации вдоль оси  $z$ . Такое соотношение концентраций позволило значительно, порядка 20% уменьшить значение коэрцитивного поля [9]. Вблизи торцов образца на поверхности были расположены два встречно-штырьевых преобразователя (2, 5) с центральными частотами в 230 МГц. ПДС формировались интерферирующим пучком второй гармоники лазера на иттрий-алюминиевом гранате ( $0.53 \mu\text{m}$ ) за 60–100 с при мощности импульсов порядка  $1 \text{ GW/cm}^2$  и длительности 40 ns. При этом процессе электрическое поле создавалось при помощи электродов 3. Как показали проведенные нами эксперименты, путем изменения структуры интерферирующего лазерного пучка было возможно формирование структуры в приповерхностном слое монокристалла ниобата на глубину до 0.3 mm и периодом от 4 до  $50 \mu\text{m}$ , что перекрывает диапазон



**Рис. 2.** Частотная зависимость коэффициента отражения  $R$ .

частот ПАВ 60 МГц–1 GHz. Сформированная ПДС была устойчива к изменениям температуры в диапазоне 0–100°C, воздействию внешних электрических полей до  $10^6$  V/m и распространяющимся акустическим сигналам. Стирание ранее сформированной периодической структуры происходило только при воздействии однородного по структуре пучка того же лазера и одновременном приложении внешнего электрического поля в направлении спонтанной поляризации за 150–200 с. Напряженность прикладываемого поля составляла 10–11 kV/mm.

Входной радиочастотный сигнал поступает на вход 2 устройства и затем в виде акустического сигнала распространяется через периодическую структуру 4. В зависимости от соотношения между периодом структуры и частотой сигнала он либо отражается от структуры и падает на входной преобразователь 2, либо поступает на выходной преобразователь 5.

В ходе экспериментов было установлено отражение импульсов ПАВ (рис. 2), генерируемых и детектируемых широкополосными пре-

образователями на резонансных частотах в диапазоне 50–400 МГц. Коэффициент относительного отражения для ПАВ составлял порядка 0.7 для 200 периодов структуры. Добротность амплитудно-частотной характеристики фильтра на резонансных частотах составляла порядка  $5 \cdot 10^2 - 0.8 \cdot 10^2$ .

Таким образом, нами был развит и продемонстрирован метод частотной перестройки резонатора поверхностных и объемных акустических волн с помощью фотоиндуцированной периодической доменной структуры в ниобате лития.

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

## Список литературы

- [1] Гуляев Ю.В. // УФН. 2005. Т. 135. № 8. С. 887–895.
- [2] Дмитриев В.Ф., Мансфельд Г.Д., Пустовойт В.И. // ЖТФ. 2007. Т. 77. В. 8. С. 101–108.
- [3] Гуляев Ю.В., Мансфельд Г.Д. // Радиотехника. 2003. № 8. С. 42–44.
- [4] Shi J., Wang J., Chen L., Chen X., Xia Y. // Optic Express. 2006. V. 14. N 13. P. 6279–6284.
- [5] Батанова Н.Л., Голенищев-Кутузов А.В., Голенищев-Кутузов В.А., Калимуллин Р.И., Усачев А.Е. // Письма в ЖТФ. 2009. Т. 35. В. 4. С. 1–5.
- [6] Батанова Н.Л., Голенищев-Кутузов А.В., Голенищев-Кутузов В.А., Калимуллин Р.И. // Акустический журнал. 2004. Т. 50. № 5. С. 581–585.
- [7] Ostrovskii I., Nadtochiy A. // J. Appl. Phys. 2008. V. 103. P. 104 107–7.
- [8] Wang W., Kong Y., Lia H., Hu Q., Chen S., Xu J. // J. Appl. Phys. 2009. V. 105. P. 043 105–4.
- [9] Голенищев-Кутузов А.В., Голенищев-Кутузов В.А., Калимуллин Р.И., Потапов А.А. // ФТТ. 2011. Т. 53. В. 3. С. 485–488.