

# МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ И ТЕХНОЛОГИЯ. ДИЭЛЕКТРИКИ

MATERIALS SCIENCE AND TECHNOLOGY. DIELECTRICS

УДК 535.312:548.7:621.38

## АКУСТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КРИСТАЛЛА $\text{La}_3\text{Ga}_{5,3}\text{Ta}_{0,5}\text{Al}_{0,2}\text{O}_{14}$

© 2014 г. Д. В. Рощупкин, Д. В. Иржак, Е. В. Емелин,  
С. А. Сахаров\*, А. Н. Забелин\*

*ФГБУН Институт проблем технологии микроэлектроники и особочистых материалов РАН,  
ул. Акад. Осипьяна, д. 6, Черноголовка, 142432, Россия,  
\*ОАО «ФОМОС Материалс»,  
ул. Буженинова, д. 16, Москва, 105023, Россия*

Разработка и поиск новых перспективных материалов группы лантангаллиевого силиката с уникальными термическими свойствами имеет большое значение для развития акустоэлектроники на основе объемных и поверхностных акустических волн. Процессы возбуждения и распространения поверхностных акустических волн в  $\text{La}_3\text{Ga}_{5,3}\text{Ta}_{0,5}\text{Al}_{0,2}\text{O}_{14}$  исследованы методом двухкristальной рентгеновской дифрактометрии на источнике синхротронного излучения BESSY II. На основе анализа дифракционных спектров акустически промодулированных кристаллов продемонстрировано, что интенсивности дифракционных сателлитов на кривой качания кристалла ЛГТА изменяются по осциллирующему закону с увеличением амплитуды входного сигнала на ВШП (увеличение амплитуды ПАВ). На основе анализа дифракционных спектров определены скорости распространения ПАВ в Y-срезе ( $V = 2220$  м/с), X-срезе ( $V = 2340$  м/с) и  $uxl/+36^\circ$ -срезе кристалла ЛГТА ( $V = 2622$  м/с). Проведено исследование распределения дифрагированной рентгеновской интенсивности по поверхности кристалла, промодулированного ПАВ, что позволило построить карту распределения акустического волнового поля на поверхности Y-, X- и  $uxl/+36^\circ$ -срезов кристалла ЛГТА. Продемонстрировано, что в кристалле ЛГТА отсутствует снос потока акустической энергии в Y-срезе, а в X- и  $uxl/+36^\circ$ -срезах снос потока акустической энергии составляет  $6,3^\circ$  и  $4,0^\circ$  соответственно.

**Ключевые слова:** пьезоэлектрический кристалл, поверхностные акустические волны, двухкristальная рентгеновская дифрактометрия.

### Введение

Разработка и поиск новых перспективных материалов группы лантангаллиевого силиката с уникальными термическими свойствами имеет большое значение для развития акустоэлектроники на основе объемных и поверхностных акустических волн. Кристаллы группы лантангаллиевого силиката относятся к классу симметрии 32, как и кристалл пьезокварца  $\text{SiO}_2$ . В этой группе можно синтезировать несколько сотен кристаллов, которые могут найти применение не только в акустоэлектронике, но и в акустооптике, оптоэлектронике, магнитооптике и магнитоакустике. Материалы данной группы обладают хорошей термостабильностью [1–4].

Значения коэффициентов электромеханической связи и пьезоэлектрических констант для кристаллов группы лантангаллиевого силиката, конечно, уступают

значениям аналогичных параметров для кристаллов  $\text{LiNbO}_3$ , но превышают соответствующие значения для кристаллов кварца в несколько раз. Ранее детально были исследованы акустические свойства кристаллов лангасита  $\text{La}_3\text{Ga}_5\text{SiO}_{14}$  [5–7] и лангатата  $\text{La}_3\text{Ga}_{5,5}\text{Ta}_{0,5}\text{O}_{14}$  [8], которые сегодня являются базовыми материалами при создании высокотемпературных датчиков на поверхностных и объемных акустических волнах. Следует отметить, что интерес к кристаллам группы лангасита также связан с отсутствием в этих кристаллах фазовых переходов, вплоть до температуры плавления.

Ниже представлены результаты изучения акустических свойств кристалла  $\text{La}_3\text{Ga}_{5,3}\text{Ta}_{0,5}\text{Al}_{0,2}\text{O}_{14}$  (ЛГТА), полученные на синхротронном источнике рентгеновского излучения с помощью метода высокоразрешающей рентгеновской дифрактометрии.

**Рошупкин Дмитрий Валентинович** — зам. директора по научной работе, доктор физ.-мат. наук, e-mail: rochtch@iptm.ru; **Иржак Дмитрий Вадимович** — кандидат физ.-мат. наук, старший научный сотрудник, e-mail: irzhak@iptm.ru; **Емелин Евгений Валерьевич** — кандидат физ.-мат. наук, научный сотрудник, e-mail: eemelin@iptm.ru; **Сахаров Сергей Александрович\*** — старший научный сотрудник, e-mail: sakharov@newpiezo.com; **Забелин Алексей Николаевич\*** — старший научный сотрудник, e-mail: zabelin@newpiezo.com

**Экспериментальная схема исследования распространения поверхностных акустических волн в кристалле  $\text{La}_3\text{Ga}_{5,3}\text{Ta}_{0,5}\text{Al}_{0,2}\text{O}_{14}$**

Процесс распространения поверхностных акустических волн (ПАВ) в кристалле ЛГТА исследовали методом двухкристальной рентгеновской дифрактометрии на источнике синхротронного излучения BESSY II на оптической линии КМС 2. Изучение акустических свойств было основано на анализе дифракционных спектров, полученных в процессе брэгговской дифракции рентгеновского излучения на акустически промодулированном кристалле ЛГТА. На рис. 1 приведена схема двухкристального рентгеновского дифрактометра. Угловое разрешение дифрактометра составляло  $0,5''$ , что позволило разрешать дифракционные сателлиты на кривой качания.

Энергию рентгеновского излучения  $E = 12,5$  кэВ (длина волны рентгеновского излучения  $\Lambda = 0,101$  нм) выделяли с помощью двойного Si(111) монохроматора. Для коллимации рентгеновского излучения использовали первичные и вторичные щели, размеры которых по вертикали и горизонтали составили  $1 \times 1$  мм<sup>2</sup> и  $60 \times 60$  мкм<sup>2</sup> соответственно. Дифрагированное рентгеновское излучение регистрировали с помощью сцинтилляционного детектора Cyberstar NaI.

Процесс дифракции рентгеновского излучения на акустически промодулированном кристалле ЛГТА исследовали на Y-, X- и  $yx\ell/+36^\circ$ -срезах (атомные плоскости (100), (110) и (101) соответственно, параллельны поверхности кристалла). Для возбуждения рэлеевских ПАВ на поверхности кристалла ЛГТА методом электронно-лучевой литографии были сформированы встречно-штыревые преобразователи (ВШП), состоящие из 50 пар электродов с периодом 3 мкм, что соответствует длине волны ПАВ  $\Lambda = 6$  мкм. Амплитуду ПАВ на поверхности кристалла можно изменять линейно от 0 до нескольких десятых нанометра путем изменения амплитуды входного высокочастотного электрического сигнала, подаваемого на ВШП.

Распространение ПАВ приводит к синусоидальной модуляции кристаллической решетки. Рэлеевская волна обладает эллиптической поляризацией. В случае симметричной брэгговской дифракции на процесс дифракции влияют только нормальные компоненты смещений кристаллической решетки [5, 9, 10].

Так как скорость ПАВ на пять порядков меньше скорости рентгеновских фотонов, то акустические деформации кристаллической решетки можно рассматривать как квазистатические. Акустические деформации кристаллической решетки характеризуются только дли-

ной волны ПАВ  $\Lambda$  и амплитудой  $h$ . Распределение деформаций, участвующих в процессе дифракции, может быть записано как

$$h = h_0 u_1 \sin(Kx), \quad (1)$$

где  $K$  — волновой вектор ПАВ;  $x$  — направление распространения ПАВ;  $h_0$  — амплитуда ПАВ на поверхности кристалла, которая контролируется амплитудой входного высокочастотного сигнала на ВШП;  $u_1$  — нормальная компонента смещений кристаллической решетки.

Дифракция рентгеновского излучения на кристаллической решетке, промодулированной ПАВ, приводит к появлению дифракционных сателлитов с двух сторон от брэгговского пика. Угловую расходимость между дифракционными сателлитами на кривой качания можно определить как [8—10]

$$\delta\Theta_{mRC} = \frac{md}{\Lambda}, \quad (2)$$

где  $m$  — номер дифракционного сателлита;  $d$  — межплоскостное расстояние;  $\Lambda$  — длина волны ПАВ.

Для исследования процесса распространения ПАВ в Y-, X- и  $yx\ell/+36^\circ$ -срезах кристалла ЛГТА снимали кривые качания в условиях резонансного возбуждения ПАВ при энергии рентгеновского излучения  $E = 12,5$  кэВ, выделенной с помощью двойного кристалла-монохроматора Si(111) (см. рис. 1). Большое влияние на процесс дифракции рентгеновского излучения на акустически промодулированном кристалле оказывает соотношение глубины проникновения рентгеновского излучения и ПАВ в кристалл [5, 9]. Глубина проникновения ПАВ в кристалл обычно не превышает двух длин волн ПАВ. Если глубина проникновения рентгеновского излучения в кристалл превышает глубину проникновения ПАВ, то процесс дифракции рентгеновского излучения является сложным, так как рентгеновское излучение дифрагирует как на акустически промодулированной кристаллической решетке, так и на более глубокой не промодулированной кристаллической решетке. Для проведения дифракционных исследований наиболее оптимальной является ситуация, когда глубина проникновения рентгеновского излучения существенно

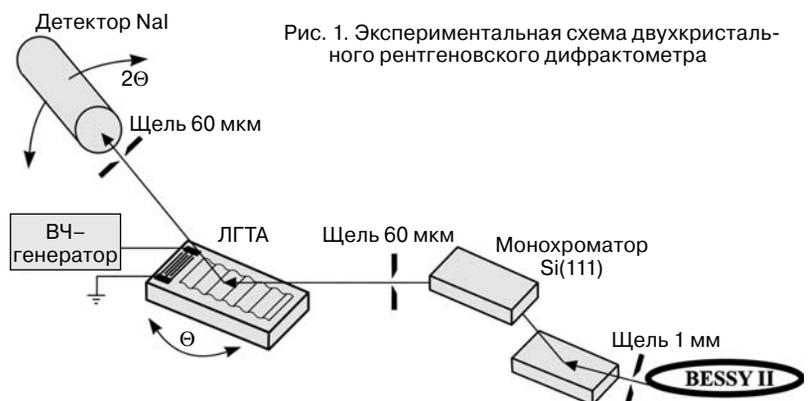


Рис. 1. Экспериментальная схема двухкристального рентгеновского дифрактометра

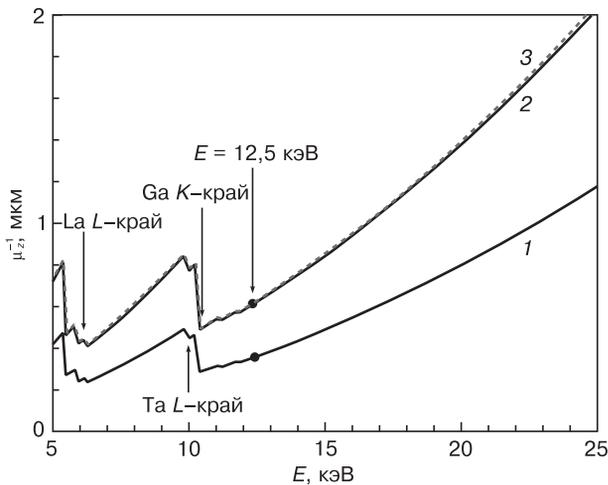


Рис. 2. Зависимости глубины проникновения рентгеновского излучения  $\mu_z^{-1}$  в кристалл ЛГТА от энергии рентгеновского излучения для различных отражений: 1 — (100); 2 — (110); 3 — (101)

меньше глубины проникновения ПАВ. В этом случае рентгеновское излучение взаимодействует только с акустически промодулированной приповерхностной областью кристалла. Данный процесс соответствует кинематической дифракции на кристалле и легко реализуется в кристаллах семейства лангасита [5, 9] из-за сильного поглощения рентгеновского излучения вблизи  $K$ -края поглощения Ga. В кинематическом приближении глубина проникновения рентгеновского излучения в кристалл ЛГТА определяется в виде функции энергии рентгеновского излучения [10]

$$\mu_z^{-1}(E) = \frac{\sin \Theta_B(E)}{2\mu_l(E)}, \quad (3)$$

где  $\mu_l$  — линейный коэффициент поглощения;  $\Theta_B$  — брэгговский угол падения рентгеновского излучения.

Зависимости глубины проникновения рентгеновского излучения в кристалл ЛГТА для различных отражений представлены на рис. 2. Наличие  $K$ -края поглощения Ga при энергии 10,26 кэВ и  $L$ -края поглощения Ta при 9,9 кэВ приводит к сильному изменению коэффициента поглощения. При энергии  $E = 12,5$  кэВ глубина проникновения рентгеновского излучения в кристалл ЛГТА составляет  $\mu_z^{-1} = 0,3$  мкм для отражения (100) и  $\mu_z^{-1} = 0,53$  мкм для отражений (110) и (101), что существенно меньше глубины проникновения ПАВ в кристалл. В этом случае рентгеновское излучение дифрагирует на тонком приповерхностном слое кристалла, равномерно промодулированном ПАВ, что соответствует кинематическим условиям дифракции и позволяет наблюдать погасания дифракционных сателлитов на кривой качания при определенных значениях амплитуды ПАВ [5, 9].

Как уже было отмечено выше, синусоидальная модуляция кристаллической решетки ПАВ приводит к появлению дифракционных сателлитов на кривой

качания. Количество и интенсивность дифракционных сателлитов определяются амплитудой ПАВ, а их угловое положение — длиной волны ПАВ.

### Результаты и их обсуждение

На рис. 3 представлены результаты исследования брэгговской дифракции рентгеновского излучения на  $Y$ -срезе кристалла ЛГТА (отражение (100), межплоскостное расстояние  $d_{(100)} = 0,72203$  нм), промодулированного ПАВ с длиной волны  $\Lambda = 6$  мкм, при энергии рентгеновского излучения  $E = 12,5$  кэВ. Брэгговский угол падения рентгеновского излучения составляет  $\Theta_B = 3,990^\circ$ . Анализ дифракционных спектров позволил определить резонансную частоту возбуждения ПАВ, при которой на кривой качания наблюдается максимальное количество дифракционных сателлитов. Для  $Y$ -среза кристалла ЛГТА резонансная частота возбуждения ПАВ с длиной волны  $\Lambda = 6$  мкм составляет  $f = 370$  МГц. Таким образом, значение скорости ПАВ в  $Y$ -срезе кристалла ЛГТА вдоль оси  $X$  можно оценить как  $V = f\Lambda = 2220$  м/с.

На рис. 3, а представлены зависимости интенсивности дифракционных сателлитов ( $m = 0, 1, 2, 3$ ) в виде функции амплитуды входного высокочастотного синусоидального сигнала  $U$  на ВШП. Дифракционные сателлиты (за исключением нулевого дифракционного сателлита,  $m = 0$ ) появляются на кривой качания при определенных амплитудах ПАВ, возрастающих с увеличением номера дифракционного сателлита. После появления на кривой качания дифракционные сателлиты ( $m = 1, 2, 3$ ) начинают быстро возрастать с увеличением амплитуды ПАВ, достигают максимума и затем начинают спадать по осциллирующему закону. Нулевой порядок дифракции ( $m = 0$ ) вначале с увеличением амплитуды ПАВ спадает, достигает минимума ( $U = 5$  В) и затем опять начинает возрастать до следующего максимума ( $U = 7$  В), т. е. интенсивность нулевого порядка дифракции тоже изменяется по осциллирующему закону. Дифракционные сателлиты достигают максимального значения при различных амплитудах входного сигнала на ВШП:

- при  $m = 1$  дифракционный сателлит достигает максимального значения 36 % при амплитуде входного сигнала  $U = 3$  В;

- при  $m = 2$  дифракционный сателлит достигает максимального значения 24 % при амплитуде  $U = 6$  В;

- при  $m = 3$  дифракционный сателлит достигает максимального значения 19 % при амплитуде  $U = 8$  В.

Из рис. 3, а видно, что поведение дифракционных сателлитов описывается функциями Бесселя [5, 9]. На рис. 3, б представлена кривая качания, измеренная при амплитуде входного высокочастотного сигнала  $U = 5$  В. Наблюдается погасание нулевого порядка дифракции. Согласно выражению (2),

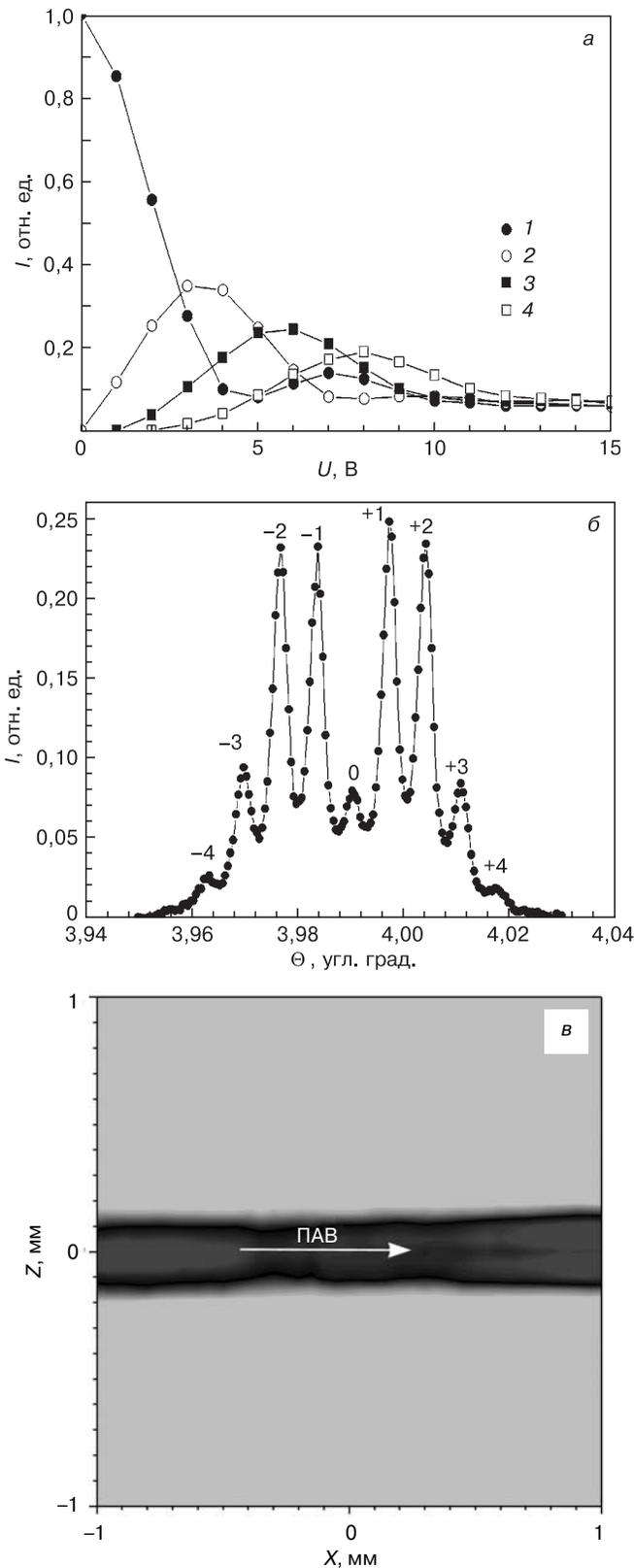


Рис. 3. Дифракция рентгеновского излучения на Y-срезе кристалла ЛГТА, промодулированного ПАВ: а — зависимости интенсивности  $I$  дифракционных сателлитов от амплитуды ПАВ на ВШП (1 —  $m = 0$ ; 2 — 1; 3 — 2; 4 — 3); б — кривая качания при амплитуде входного сигнала  $U = 5$  В; в — распределение акустического волнового поля на поверхности кристалла. Энергия рентгеновского излучения  $E = 12,5$  кэВ, длина волны ПАВ  $\Lambda = 6$  мкм, отражение (100), угол Брэгга  $\Theta_B = 3,990^\circ$

расчетное значение угловой расходимости между дифракционными сателлитами на кривой качания должно составлять  $\delta\Theta_{mRC} = 0,0067^\circ$ , что находится в хорошем соответствии с экспериментальным значением  $\delta\Theta_{mRC} = 0,0068^\circ$ . Из рис. 3, а и б хорошо видно, что в кристалле ЛГТА не наблюдается полное подавление дифракционных сателлитов. Это связано с затуханием амплитуды ПАВ по глубине кристалла по экспоненциальному закону.

В работах [5, 6, 8] было продемонстрировано, что в ряде срезов кристаллов группы лантангаллиевого силиката процесс распространения ПАВ характеризуется сносом потока акустической энергии, когда направление распространения потока акустической энергии не совпадает с волновым вектором ПАВ. Для исследования процесса распространения ПАВ в Y-срезе кристалла ЛГТА была измерена карта распределения рентгеновской интенсивности, дифрагированной во второй порядок дифракции, по поверхности кристалла при амплитуде входного сигнала на ВШП  $U = 6$  В, когда максимум рентгеновской интенсивности дифрагирует во второй дифракционный сателлит на кривой качания (см. рис. 3, а). В этом случае угловое положение образца соответствует дифракции рентгеновского излучения во второй порядок дифракции и осуществляется перемещение образца вдоль и перпендикулярно направлениям распространения ПАВ по поверхности кристалла [8]. На рис. 3, в представлена карта распределения рентгеновской интенсивности, дифрагированной на ПАВ. Темный контраст на рисунке соответствует акустическому волновому полю ПАВ на поверхности Y-среза кристалла ЛГТА. Из рис. 3, в видно, что в Y-срезе отсутствует снос потока акустической энергии ( $\alpha = 0^\circ$ ).

На рис. 4 представлены результаты исследования процесса распространения ПАВ в X-срезе кристалла ЛГТА (плоскости (110) параллельны поверхности кристалла, межплоскостное расстояние  $d_{(110)} = 0,41453$  нм), промодулированного ПАВ с длиной волны  $\Lambda = 6$  мкм, при энергии рентгеновского излучения  $E = 12,5$  кэВ. Брэгговский угол падения рентгеновского излучения составляет  $\Theta_B = 7,030^\circ$ . Для X-среза кристалла ЛГТА резонансная частота возбуждения ПАВ с длиной волны  $\Lambda = 6$  мкм, при которой на кривой качания наблюдается максимальное количество дифракционных сателлитов, что соответствует оптимальным условиям возбуждения ПАВ, составляет  $f = 390$  МГц. Таким образом, значение скорости ПАВ в X-срезе кристалла ЛГТА вдоль оси Y составляет  $V = f\Lambda = 2340$  м/с.

На рис. 4, а представлены зависимости интенсивности дифракционных сателлитов от амплитуды входного высокочастотного сигнала на ВШП. Так как коэффициент электромеханической связи в X-срезе существенно превышает значение в Y-срезе, то дифракционные сателлиты на кривой качания появляются при меньших значениях амплитуды входного

сигнала на ВШП. Так, для  $m = 1$  дифракционный сателлит достигает своего первого максимума при амплитуде входного сигнала на ВШП  $U = 1$  В, для  $m = 2$  дифракционный сателлит достигает максимума при  $U = 2$  В, а для  $m = 3$  — при  $U = 3$  В. На рис. 4, б представлена кривая качания, полученная при амплитуде входного сигнала на ВШП  $U = 5$  В, на которой вокруг брэгговского пика ( $m = 0$ ) можно наблюдать с каждой стороны по 8 дифракционных сателлитов ( $m = \pm 1, \pm 2, \dots, \pm 8$ ). В  $Y$ -срезе аналогичное количество дифракционных сателлитов наблюдается на кривой качания при амплитуде входного сигнала  $U = 12$  В. В  $X$ -срезе кристалла ЛГТА ширина брэгговского пика на половине высоты для отражения (110) составляет  $FWHM = 0,002^\circ$ , а угловая расходимость между дифракционными сателлитами на кривой качания —  $\delta\theta_{mRC} = 0,004^\circ$ , что соответствует значению, полученному из выражения (2).

В отличие от  $Y$ -среза кристалла ЛГТА распространение ПАВ в  $X$ -срезе характеризуется сносом потока акустической энергии. Для исследования процесса распространения ПАВ в  $X$ -срезе кристалла ЛГТА была измерена карта распределения рентгеновской интенсивности, дифрагированной во второй порядок дифракции, при амплитуде входного сигнала на ВШП  $U = 2$  В, когда максимум рентгеновской интенсивности дифрагирует во второй дифракционный сателлит на кривой качания (см. рис. 4, а). На рис. 4, в представлена карта распределения рентгеновской интенсивности, дифрагированной на ПАВ. Темный контраст соответствует акустическому волновому полю ПАВ на поверхности  $X$ -среза кристалла ЛГТА. Из рис. 4, в видно, что снос потока акустической энергии в  $X$ -срезе кристалла ЛГТА составляет  $\alpha = 6,3^\circ$ .

На рис. 5 представлены результаты исследования процесса распространения ПАВ с длиной волны  $\Lambda = 6$  мкм в  $yx1/+36^\circ$ -срезе кристалла ЛГТА вдоль оси  $X$ . Для исследования процесса дифракции использовали отражение от плоскостей (101), параллельных поверхности кристалла в  $yx1/+36^\circ$ -срезе. Межплоскостное расстояние составляет  $d_{(101)} = 0,42050$  нм, что соответствует значению угла Брэгга  $\theta_B = 6,996^\circ$  при длине волны рентгеновского излучения  $\Lambda = 0,1127$  нм. В  $yx1/+36^\circ$ -срезе оптимальная частота возбуждения ПАВ составляет  $f = 437$  МГц, что соответствует значению скорости распространения ПАВ вдоль оси  $X$   $V = f\Lambda = 2622$  м/с. На рис. 5, а представлены зависимости интенсивности дифракционных сателлитов ( $m = 0, 1, 2, 3$ ) в виде функции амплитуды входного высокочастотного сигнала на ВШП. Интенсивности дифракционных сателлитов изменяются по осциллирующему закону. На рис. 5, б приведена кривая качания, полученная при амплитуде входного сигнала на ВШП  $U = 15$  В, при которой наблюдается частичное погасание первых дифракционных сателлитов  $m = 1$  на кривой качания. В отсутствие возбуждения ПАВ  $FWHM = 0,002^\circ$ . Возбуж-

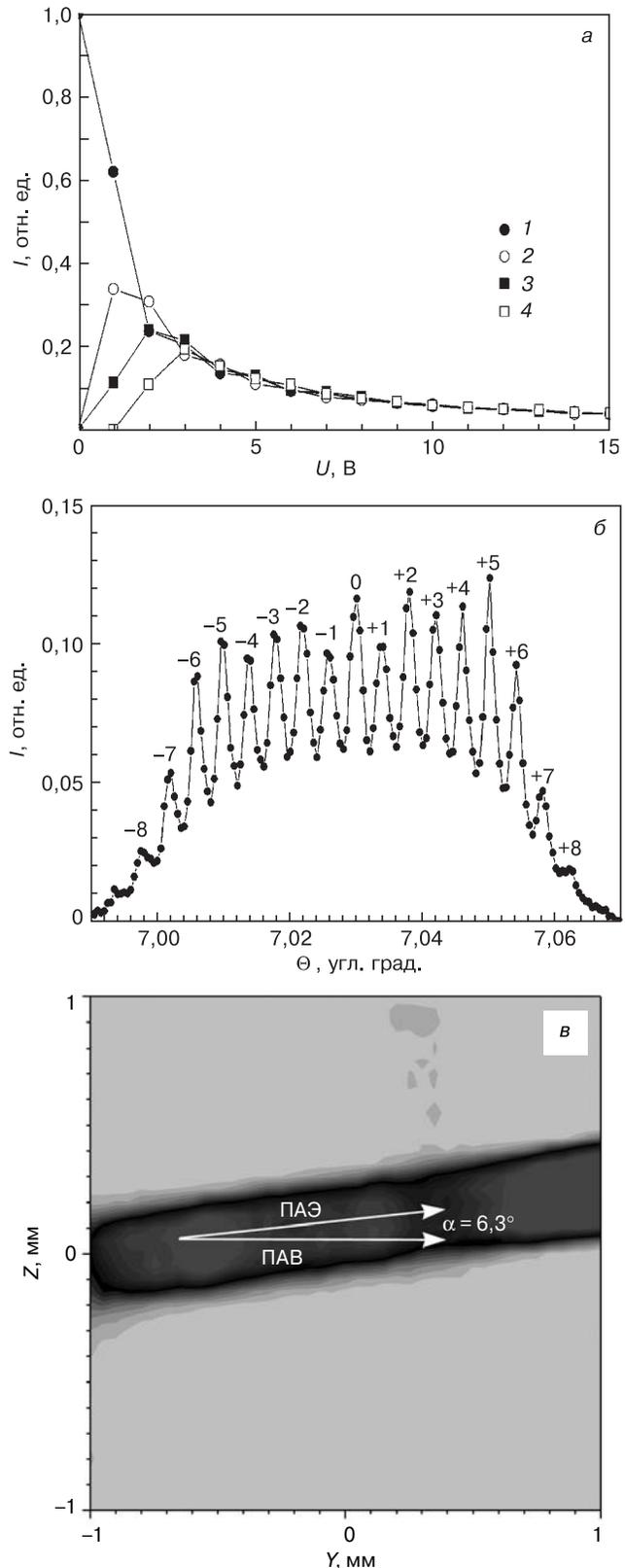


Рис. 4. Дифракция рентгеновского излучения на  $X$ -срезе кристалла ЛГТА, промодулированного ПАВ: а — зависимости интенсивности  $I$  дифракционных сателлитов от амплитуды ПАВ на ВШП (1 —  $m = 0$ ; 2 — 1; 3 — 2; 4 — 3); б — кривая качания при амплитуде входного сигнала  $U = 5$  В; в — снос потока акустической энергии,  $\alpha = 6,3^\circ$ . Энергия рентгеновского излучения  $E = 12,5$  кэВ, длина волны ПАВ  $\Lambda = 6$  мкм, отражение (110), угол Брэгга  $\theta_B = 7,030^\circ$

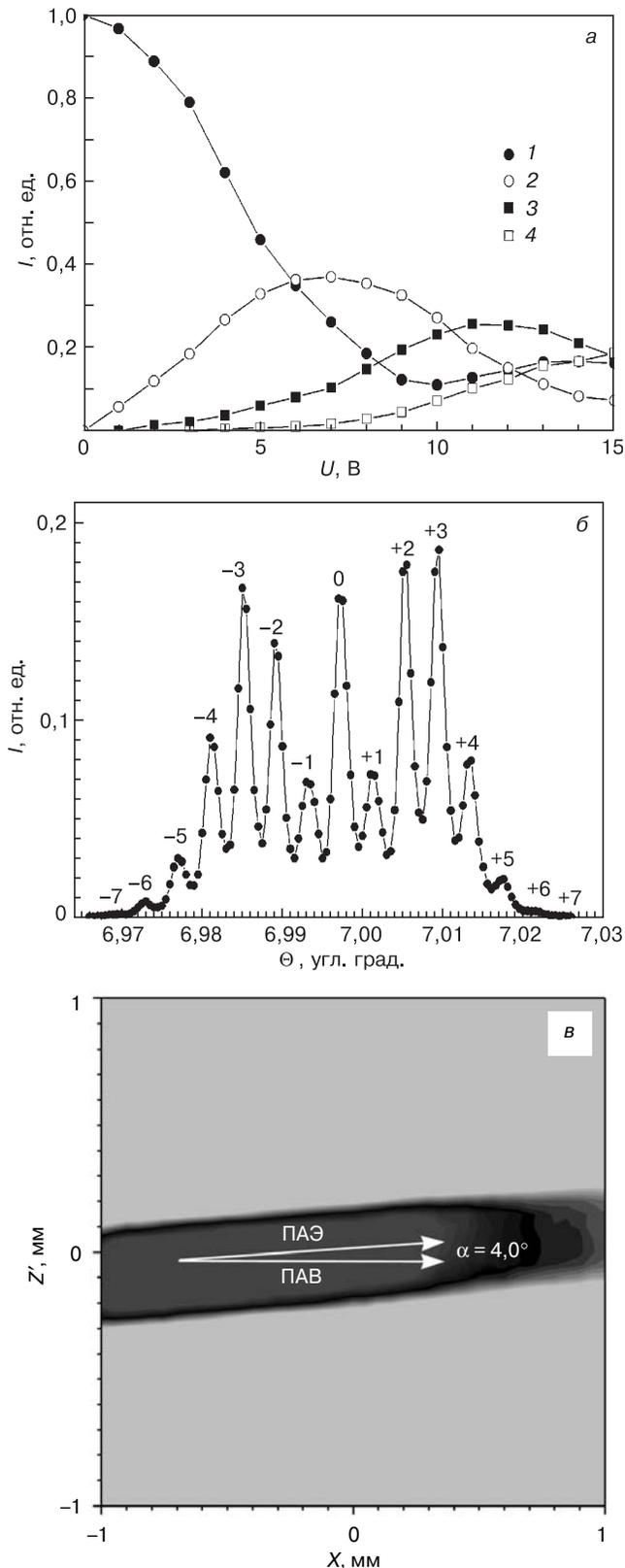


Рис. 5. Дифракция рентгеновского излучения на  $yx1/+36^\circ$ -срезе кристалла ЛГТА, промодулированного ПАВ: а — зависимости интенсивности  $I$  дифракционных сателлитов от амплитуды ПАВ на ВШП (1 —  $m = 0$ ; 2 — 1; 3 — 2; 4 — 3); б — кривая качания при амплитуде входного сигнала  $U = 5$  В; в — снос потока акустической энергии,  $\alpha = 4,0^\circ$ . Энергия рентгеновского излучения  $E = 12,5$  кэВ; длина волны ПАВ  $\Lambda = 6$  мкм; отражение (101); угол Брэгга  $\Theta_B = 6,996^\circ$

дение ПАВ приводит к появлению дифракционных сателлитов на кривой качания, угловая расходимость между дифракционными сателлитами составляет  $\delta\Theta_{mRC} = 0,004^\circ$ , что соответствует расчетному значению из выражения (2). Для исследования сноса потока акустической энергии ПАВ в  $yx1/+36^\circ$ -срезе кристалла ЛГТА была измерена карта распределения рентгеновской интенсивности, дифрагированной во второй порядок дифракции, при амплитуде входного сигнала на ВШП  $U = 12$  В, когда максимум рентгеновской интенсивности дифрагирует во второй дифракционный сателлит (см. рис. 5, а). На рис. 5, б представлена карта распределения рентгеновской интенсивности, дифрагированной на ПАВ. Темный контраст соответствует акустическому волновому полю ПАВ на поверхности  $yx1/+36^\circ$ -среза кристалла ЛГТА. Из рис. 5, в видно, что снос потока акустической энергии в  $yx1/+36^\circ$ -срезе кристалла ЛГТА составляет  $\alpha = 4,0^\circ$ .

### Заключение

С помощью метода высокоразрешающей рентгеновской дифрактометрии продемонстрировано, что интенсивности дифракционных сателлитов на кривой качания кристалла ЛГТА изменяются по осциллирующему закону с увеличением амплитуды входного сигнала на ВШП (увеличение амплитуды ПАВ). На основе анализа дифракционных спектров определены скорости распространения ПАВ в  $Y$ -срезе ( $V = 2220$  м/с),  $X$ -срезе ( $V = 2340$  м/с) и  $yx1/+36^\circ$ -срезе кристалла ЛГТА ( $V = 2622$  м/с). Проведено исследование распределения дифрагированной рентгеновской интенсивности по поверхности кристалла, промодулированного ПАВ, что позволило построить карту распределения акустического волнового поля на поверхности  $Y$ -,  $X$ - и  $yx1/+36^\circ$ -срезов кристалла LGTA. Продemonстрировано, что в кристалле ЛГТА отсутствует снос потока акустической энергии в  $Y$ -срезе, а в  $X$ - и  $yx1/+36^\circ$ -срезах снос потока акустической энергии составляет  $6,3^\circ$  и  $4,0^\circ$  соответственно.

### Библиографический список

1. Da Cunha, M. P. Investigation on recent quartz-like materials for SAW applications / M. Pereira da Cunha, S. A. Fagundes // IEEE Trans. Ultrason. Ferroelec. Freq. Contr. – 1999. – V. 46. – P. 1583–1590.
2. Smythe, R. C. Langasite, langanite, and langatate bulk-wave  $Y$ -cut resonators / R. C. Smythe, R. C. Helmbold, G. E. Hague, K. A. Snow // Ibid. – 2000. – V. 47. – P. 355–360.
3. Fritze, H. Langasite for high-temperature bulk acoustic wave applications / H. Fritze, H. L. Tuller // Appl. Phys. Lett. – 2001. – V. 78. – P. 976–978.
4. Naumenko, N. Optimal cuts of langasite,  $La_3Ga_5SiO_{14}$  for SAW devices / N. Naumenko // IEEE Trans. Ultrason. Ferroelectr. Freq. Contr. – 2001. – V. 48. – P. 530–537.
5. Roshchupkin, D. V. X-ray Bragg diffraction from langasite crystal modulated by surface acoustic wave / D. V. Roshchupkin, D. V. Irzhak, R. Tucoulou, O. A. Buzanov // J. Appl. Phys. – 2003. – V. 94. – P. 6692–6696.
6. Roshchupkin, D. V. X-Ray topography analysis of acoustic wave fields in the SAW-resonators structures / D. V. Roshchupkin,

H. D. Roshchupkina, D. V. Irzhak // *IEEE Trans. Ultrason. Ferroelectr. Freq. Contr.* – 2005. – V. 52. – P. 2081–2087.

7. **Roshchupkin, D.** Diffraction of a focused x-ray beam from  $\text{La}_3\text{Ga}_5\text{SiO}_{14}$  crystal modulated by surface acoustic waves / D. Roshchupkin, D. Irzhak, A. Snigireva, I. Snigireva, L. Ortega, A. Sergeev // *J. Appl. Phys.* – 2011. – V. 110. – P. 124902(6).

8. **Roshchupkin, D. V.** X-ray diffraction analysis of the surface acoustic wave propagation in langatate crystal / D. V. Roshchupkin,

A. I. Erko, L. Ortega, D. V. Irzhak // *Appl. Phys. A.* – 2009. – V. 94. – P. 477–484.

9. **Tucoulou, R.** X-ray diffraction from perfect silicon crystals distorted by surface acoustic waves / R. Tucoulou, R. Pascal, M. Brunel, O. Mathon, D. V. Roshchupkin, I. A. Schelokov, E. Cattin, D. Remiens // *J. Appl. Cryst.* – 2000. – V. 33. – P. 1019–1022.

10. **Tucoulou, R.** X-ray Bragg diffraction of  $\text{LiNbO}_3$  crystals excited by surface acoustic waves / R. Tucoulou, F. de Bergevin, O. Mathon, D. Roshchupkin // *Phys. Rev. B.* – 2001. – V. 64. – P. 134108(9).

Исследования по измерению пьезоэлектрических модулей кристалла ЛГТА выполнены при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации (ГК 16.513.12.3027).

Статья поступила в редакцию 27 июня 2013 г.

ISSN 1609–3577 Izvestiya vuzov. Materialy elektronnoi tekhniki = Materials of Electronics Engineering. 2014, vol. 17, no. 2, pp. 92–98.

### Acoustic Properties of $\text{La}_3\text{Ga}_{5.3}\text{Ta}_{0.5}\text{Al}_{0.2}\text{O}_{14}$ Crystal

**Dmitry Valentinovich Roshchupkin**<sup>1</sup> — Deputy Head (Science), Dr. Sci. (Phys.–Math.) (rochtch@iptm.ru); **Dmiry Vadimovich Irzhak**<sup>1</sup> — Cand. Sci. (Phys.–Math.), Senior Researcher (irzhak@iptm.ru); **Eugeny Valerievich Emelin**<sup>1</sup> — Cand. Sci. (Phys.–Math.), Researcher (eemelin@iptm.ru); **Sergei Alexandrovich Sakharov**<sup>2</sup> — Senior Researcher (sakharov@newpiezo.com); **Alexey Nikolaevich Zabelin**<sup>2</sup> — Senior Researcher (zabelin@newpiezo.com).

<sup>1</sup>*Institute of Microelectronics Technology and High–Purity Materials Russian Academy of Sciences, 6 Academician Osip 'yan Str., Chernogolovka, Moscow Region 142432, Russia*

<sup>2</sup>*FOMOS Materials Co 16 Buzheninova Str., Moscow 107023, Russia*

**Abstract.** Development and search for new advanced materials of the lanthanum gallium silicate group with unique thermal properties is of great importance for the development of acoustoelectronics based on volume and surface acoustic waves. The processes of surface acoustic wave excitation and propagation in the  $\text{La}_3\text{Ga}_{5.3}\text{Ta}_{0.5}\text{Al}_{0.2}\text{O}_{14}$  crystal was studied using a double-crystal X-ray diffractometer with a BESSY II synchrotron radiation source. The X-ray diffraction spectra of acoustically modulated crystals were used to measure the surface acoustic wave velocity and power flow angles in different acoustic cuts of the  $\text{La}_3\text{Ga}_{5.3}\text{Ta}_{0.5}\text{Al}_{0.2}\text{O}_{14}$  crystal.

**Keywords:** piezoelectric crystal, surface acoustic wave, synchrotron radiation.

#### References

1. Da Cunha M. P., Fagundes S. A. Investigation on recent quartz-like materials for SAW applications. *IEEE Trans. Ultrason. Ferroelec. Freq. Contr.* 1999, vol. 46, pp. 1583–1590.
2. Smythe, R. C., Helmbold R. C., Hague G. E., Snow K. A. Langasite, langanite, and langatate bulk-wave Y-cut resona-

tors. *IEEE Trans. Ultrason. Ferroelectr. Freq. Contr.* 2000, vol. 47, pp. 355–360.

3. Fritze H., Tuller H. L. Langasite for high-temperature bulk acoustic wave applications. *Appl. Phys. Lett.* 2001, vol. 78, pp. 976–978.

4. Naumenko N. Optimal cuts of langasite,  $\text{La}_3\text{Ga}_5\text{SiO}_{14}$  for SAW devices. *IEEE Trans. Ultrason. Ferroelectr. Freq. Contr.* 2001, vol. 48, pp. 530–537.

5. Roshchupkin D. V., Irzhak D. V., Tucoulou R., Buzanov O. A. X-ray Bragg diffraction from langasite crystal modulated by surface acoustic wave. *J. Appl. Phys.* 2003, vol. 94, pp. 6692–6696.

6. Roshchupkin D. V., Roshchupkina H. D., Irzhak D. V. X-Ray topography analysis of acoustic wave fields in the SAW-resonators structures. *IEEE Trans. Ultrason. Ferroelectr. Freq. Contr.* 2005, vol. 52, pp. 2081–2087.

7. Roshchupkin D., Irzhak D., Snigirev A., Snigireva I., Ortega L., Sergeev A. Diffraction of a focused x-ray beam from  $\text{La}_3\text{Ga}_5\text{SiO}_{14}$  crystal modulated by surface acoustic waves. *J. Appl. Phys.* 2011, vol. 110, pp. 124902(6).

8. Roshchupkin D. V., Erko A. I., Ortega L., Irzhak D. V. X-ray diffraction analysis of the surface acoustic wave propagation in langatate crystal. *Appl. Phys. A.* 2009, vol. 94, pp. 477–484.

9. Tucoulou R., Pascal R., Brunel M., Mathon O., Roshchupkin D. V., Schelokov I. A., Cattin E., Remiens D. X-ray diffraction from perfect silicon crystals distorted by surface acoustic waves. *J. of Appl. Cryst.* 2000, vol. 33, pp. 1019–1022.

10. Tucoulou R., de Bergevin F., Mathon O., Roshchupkin D. X-ray Bragg diffraction of  $\text{LiNbO}_3$  crystals excited by surface acoustic waves. *Phys. Rev. B.* 2001, vol. 64, pp. 134108(9).

**Acknowledgements.** Research on the measurement of the piezoelectric crystal modules LGTA performed with the financial support of the Ministry of Education and Science of the Russian Federation (No. 16.513.12.3027).

Received June 27, 2013