

СВОЙСТВА ПОВЕРХНОСТНЫХ АКУСТИЧЕСКИХ ВОЛН В КРИСТАЛЛЕ $\text{Ca}_3\text{NbGa}_3\text{Si}_2\text{O}_{14}$

Р.М. Тазиев

Институт физики полупроводников СО РАН, г. Новосибирск, Россия

В последние годы были предприняты значительные усилия в области создания новых материалов семейства лангасита (LGS , $\text{La}_3\text{Ga}_5\text{SiO}_{14}$) [1], (LGT , $\text{La}_3\text{Ga}_{5.5}\text{Nb}_{0.5}\text{O}_{14}$) [2], в которых температурные свойства поверхностных акустических волн (ПАВ) подобны свойствам ПАВ в ST-срезе альфа-кварца, но они имеют больший коэффициент электро-механической связи [3]. По величине коэффициента электро-механической связи ПАВ эти кристаллы занимают промежуточную нишу между широко используемыми кристаллами альфа-кварц и танталат, ниобат лития. Отсутствие фазового перехода в этих кристаллах вплоть до температуры плавления ($1350\text{--}1500\text{ }^\circ\text{C}$) привлекает исследователей использовать их в создании высокотемпературных дистанционных датчиков температуры на основе ПАВ. Малая фазовая скорость ПАВ позволяет создать на их основе компактные ПАВ-фильтры диапазона частот ($70\text{--}300\text{ МГц}$). Новый кристалл $\text{Ca}_3\text{NbGa}_3\text{Si}_2\text{O}_{14}$ принадлежит также к семейству лангасита. Свойства ПАВ в этом кристалле пока мало изучены. В единственной работе [4] численно исследованы свойства ПАВ в некоторых срезах кристалла и найден срез, обладающий температурно-стабильными свойствами ПАВ.

Цель настоящей работы подробно численно исследовать свойства ПАВ в этом кристалле. Поскольку кристалл $\text{Ca}_3\text{NbGa}_3\text{Si}_2\text{O}_{14}$ имеет симметрию альфа-кварца (32), он имеет 6 упругих констант, 2 пьезоэлектрические и 2 диэлектрические независимые постоянные. Эти данные вместе с их температурными производными приведены в работе [5]. Для расчета параметров ПАВ: фазовой скорости V , коэффициента электро-механической связи, угла отклонения потока энергии волны от ее волновой нормали и температурного коэффициента времени задержки (ТКЗ) волны мы использовали программу [6]. Угол среза кристалла задается двумя углами Эйлера (α , μ), а направление распространения волны в

этой плоскости – углом θ . Для данной симметрии кристалла достаточно проварьировать угол α в диапазоне от 0° до 30° с шагом 5° , угол μ – в диапазоне от 0° до 180° с шагом 5° , угол θ – в диапазоне от 0° до 180° с шагом 5° . Величина шага в 5° выбрана с тем расчетом, что все параметры ПАВ слабо меняются при данной величине шага, и для их уточнения достаточно использовать полученную сетку значений параметров ПАВ. Проведя эти расчеты в указанных диапазонах изменения углов Эйлера, мы практически полностью исследуем свойства ПАВ во всем кристалле $\text{Ca}_3\text{NbGa}_3\text{Si}_2\text{O}_{14}$.

Результаты численных расчетов

Проведенные численные исследования показали, что этом кристалле имеются следующие экстремальные значения параметров ПАВ:

1) Скорость ПАВ меняется в диапазоне от 2900 м/с до 3200 м/с .

2) Температурный коэффициент времени задержки ПАВ меняется в диапазоне от $-60 \cdot 10^{-6} / ^\circ\text{C}$ до $+60 \cdot 10^{-6} / ^\circ\text{C}$. Имеются ориентации срезов кристалла с нулевыми температурными коэффициентами времени задержки ПАВ.

3) Коэффициент электро-механической связи ПАВ меняется в диапазоне от 0 до 0.46%.

Основные свойства ПАВ приведены на рис.1-4 для дискретных значений угла $\alpha=0^\circ, 10^\circ, 20^\circ$ и 30° .

Жирная линия на рис.16-4б обозначает линию с нулевым температурным коэффициентом времени задержки ПАВ. Из рисунок 1-4 видно, что в кристалле $\text{Ca}_3\text{NbGa}_3\text{Si}_2\text{O}_{14}$ существует много ориентации с нулевым значением температурного коэффициента времени задержки ПАВ. В том числе, для среза с углами ($\alpha=30^\circ, \mu=45^\circ, \theta=110^\circ$) на рис.4а,б, найденные в работе [4].

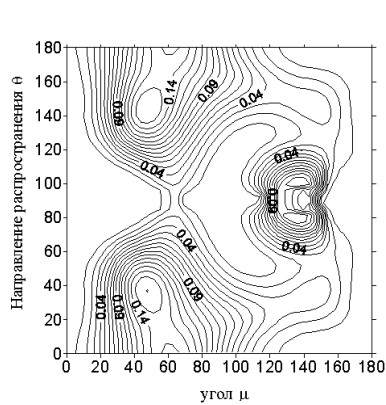


Рисунок 1а – Коэффициент электро-механической связи ПАВ ($k^2/2$, %).

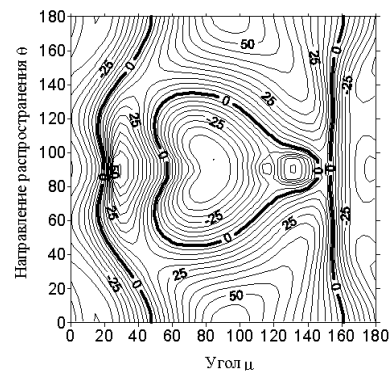


Рисунок 1б – Температурный коэффициент времени задержки ПАВ.

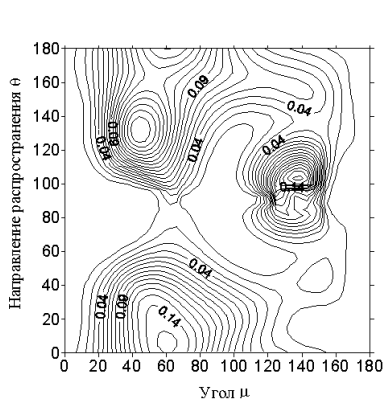


Рисунок 2а – Коэффициент электро-механической связи ПАВ ($k^2/2$, %).

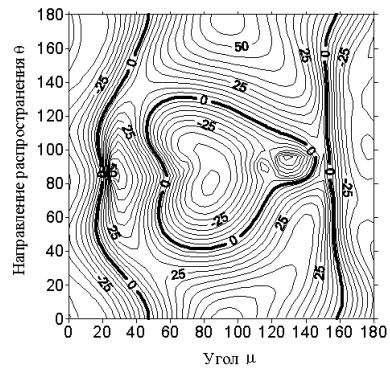


Рисунок 2б – Температурный коэффициент времени задержки ПАВ.

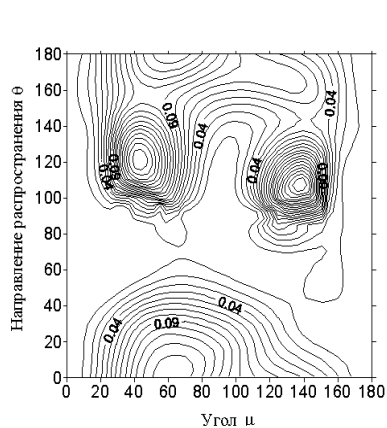


Рисунок 3а – Коэффициент электро-механической связи ПАВ ($k^2/2$, %).

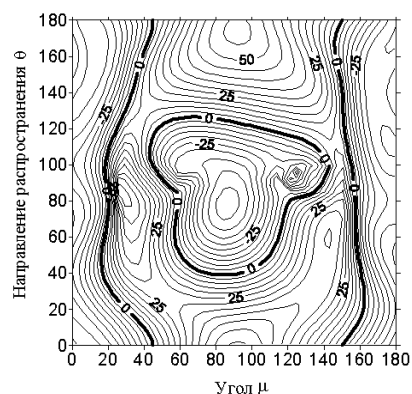


Рисунок 3б – Температурный коэффициент времени задержки ПАВ.

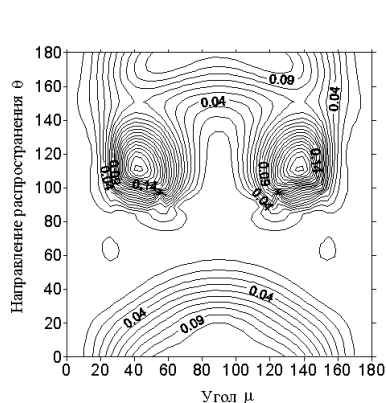


Рисунок 4а – Коэффициент электромеханической связи ПАВ ($k^2/2$, %).

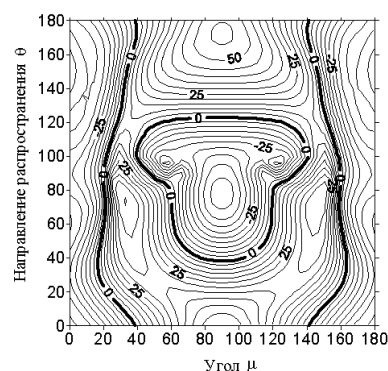


Рисунок 4б – Температурный коэффициент времени задержки ПАВ.

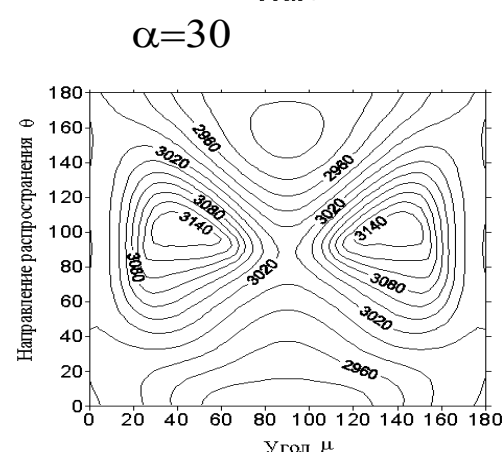
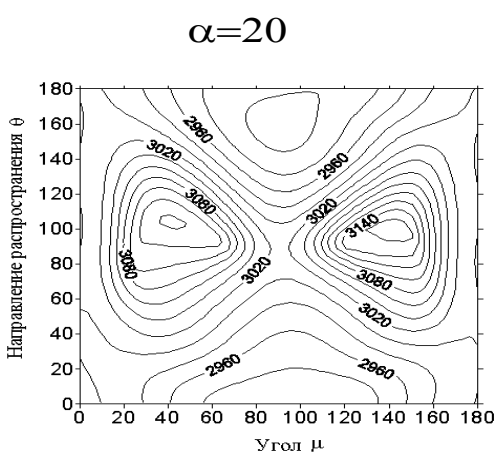
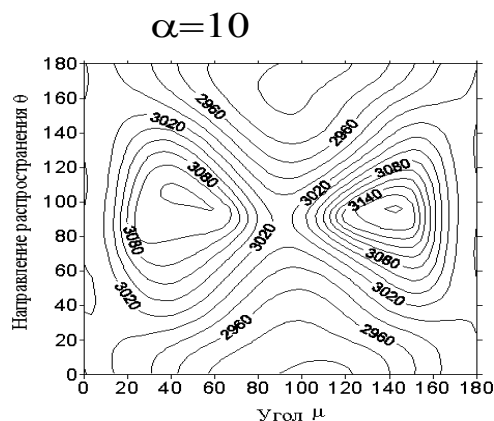
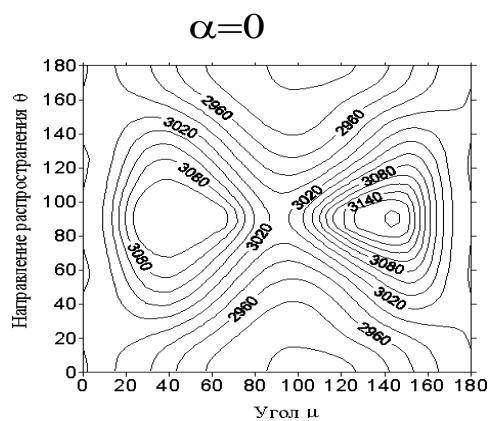


Рисунок 5 – Фазовая скорость ПАВ для различных срезов кристалла $\text{Ca}_3\text{NbGa}_3\text{Si}_2\text{O}_{14}$

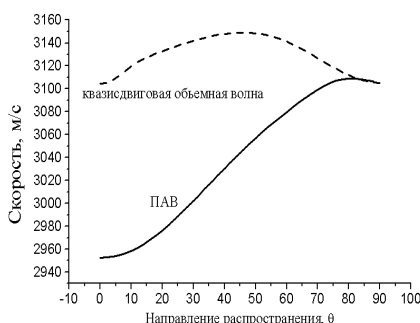
Срез ($\alpha=0^\circ, \mu=48^\circ$)

Рисунок 6а – Фазовая скорость ПАВ как функция угла направления распространения θ от оси X кристалла.

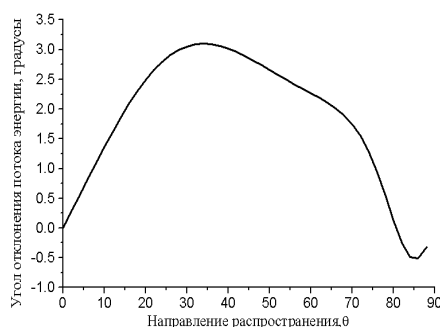


Рисунок 6б – Угол отклонения потока энергии волны от ее волновой нормали как функция угла направления распространения θ от оси X кристалла.

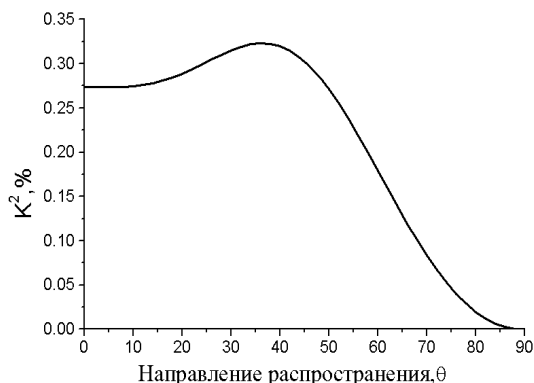


Рисунок 6в – Коэффициент электромеханической связи ПАВ как функция угла направления распространения θ от оси X кристалла.

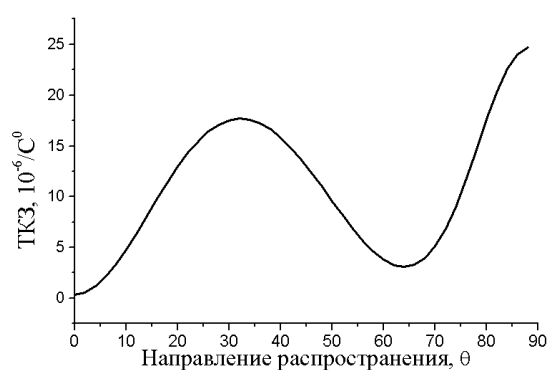


Рисунок 6г – Температурный коэффициент времени задержки ПАВ как функция угла направления распространения θ от оси X кристалла.

Из рис.1а,б видно, что существует срез, где параметры ПАВ подобны свойствам ПАВ в хорошо известном ST-срезе альфа-кварца с направлением распространения волны вдоль оси X кристалла. Эта ориентация имеет углы Эйлера: $\alpha=0^\circ, \mu=48^\circ, \theta=0^\circ$. На рис.5 приведена зависимость фазовой скорости ПАВ для различных срезов кристалла $Ca_3NbGa_3Si_2O_{14}$. Видно, что фазовая скорость ПАВ меняется в малых пределах: ± 100 м/с для различных срезов кристалла. На рис.6 приведены зависимости фазовой скорости, угла отклонения потока энергии от волновой нормали, коэффициента электромеханической связи и температурного коэффициента времени задержки ПАВ в срезе ($\alpha=0^\circ, \mu=48^\circ$) кристалла $Ca_3NbGa_3Si_2O_{14}$ как функция угла направления распространения волны θ . Угол среза $\mu=48^\circ$ выбран таким образом, чтобы нулевое значение ТКЗ было для волны, распространяющейся вдоль оси X кристалла.

В этом случае направление потока энергии волны совпадает с ее волновой нормалью.

В отличие от кристалла альфа-кварц, для кристалла $Ca_3NbGa_3Si_2O_{14}$ имеем слабую угловую зависимость угла отклонения потока энергии волны от ее волновой нормали (см.рис.6б).

Значение коэффициента электромеханической связи ПАВ в два раза большее, чем в известном ST-срезе альфа-кварца. Как видно из рис.6а щель между значениями скорости предельной сдвиговой объемной волной и скорости ПАВ достаточна, чтобы они не возбуждались одновременно встречно-штыревым преобразователем ПАВ. Таким образом, данный срез кристалла $Ca_3NbGa_3Si_2O_{14}$ представляет несомненный практический интерес для разработки устройств на поверхностных акустических волнах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Silvestrova I. M., Bezdelkin V. V., Senyushenkov P. A. etc. Present stage of

- $\text{La}_3\text{Ga}_5\text{SiO}_{14}$ research //Proc.IEEE International Frequency. Control. Symposium, N.Y.,1993, pp. 348–350.
2. Pisarevsky Y. V., Senushencov P. A, Popov P. A. etc. New strong piezoelectric $\text{La}_3\text{Ga}_5.5\text{Nb}0.5\text{O}_{14}$ with temperature compensation cuts // Proc. IEEE International Frequency Control. Symposium, N.Y.,1995, pp. 653–656.
 3. Yakovkin I. B., Taziev R. M. and Kozlov A. S.Numerical and Experimental Investigation SAW in Languite // Proc. IEEE Ultrasonics Symposium, N.Y., 1995, Vol. 1,pp. 389-393.
 4. Adachi M.,Sato R. and Karaki R. Temperature compensated langasite family compound $\text{Ca}_3\text{NbGa}_3\text{Si}_2\text{O}_{14}$ crystal for SAW applications // Proc. IEEE Ultrasonics Symposium, N.Y., 2004, Vol.1,pp.1984-1987.
 5. Karaki T., Sato R.,Adachi M. etc. Piezoelectric properties of $\text{Ca}_3\text{NbGa}_3\text{Si}_2\text{O}_{14}$ single crystal// Japanese Journal of Applied Physics, 2004,Vol.43, N.9B, pp.6721-6724.
 6. Тазиев Р.М., Ляхов Н.З. Улучшенный алгоритм расчета параметров акустических поверхностных волн в анизотропных средах// Рук. Деп. ВИНТИ, 1984, №5235-84, с.12.