

ВЛИЯНИЕ АНИЗОТРОПИИ КРИСТАЛЛА LiNbO_3 НА РАСХОДИМОСТЬ ПАВ, ОБУСЛОВЛЕННУЮ ДОПУСКАМИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ОСНАСТКИ

С. П. Дорохов, А. С. Салов

ФГУП «ФНПЦ НИИИС им. Ю. Е. Седакова», г. Н. Новгород

Введение

Проектирование устройств, работа которых основывается на использовании поверхностных акустических волн (ПАВ), является перспективным направлением научных исследований, имеющим широкое практическое применение в энергонезависимых транспондерах, устанавливаемых на контролируемых объектах. Транспондером формируется уникальный информационный сигнал, состоящий из паспортных импульсов (идентифицируют порядковый номер объекта) и датчиковых импульсов физических величин (позволяют проконтролировать состояние объекта).

Основным элементом в транспондере, отвечающим за преобразование сигналов с датчиков физических параметров и формирование информационного сигнала является многоканальная отражательная линия задержки (ОЛЗ) на поверхностных акустических волнах (ПАВ). Работа ОЛЗ основывается на возбуждении ПАВ встречно-штыревыми преобразователями (ВШП) при подаче на него активирующего радиоимпульса, прохождении ПАВ по акустическому каналу и обратно и последующим преобразованием энергии отраженной ПАВ в информационный сигнал [1].

Жесткие требования к характеристикам, предъявляемые к ОЛЗ на ПАВ, а также сложность процесса изготовления и его высокая стоимость приводят к необходимости проводить расчет и оптимизацию конструкции на стадии проектирования данных устройств.

На характеристики информационного сигнала, сформированного ОЛЗ (величина амплитуды импульсов, их равномерность) оказывают значительное влияние паразитные переотражения сигналов в акустических каналах, дифракция, приводящая к рассеиванию акустической волны, отклонение акустической волны от кристаллографической оси вследствие отклонения при установке технологической оснастки, используемой в фотолитографическом процессе при изготовлении ОЛЗ.

Целью настоящей работы является разработка и оптимизация конструкции многоканальной ОЛЗ на ПАВ, в которой снижено влияние переотражений, улучшен параметр «сигнал – шум» и учтено влияние анизотропии пьезоэлектрической подложки из LiNbO_3 срез (0,38,0) на дифракцию ПАВ, вследствие ее отклонения от кристаллографической оси, обусловленного допусками технологической оснастки.

Влияние анизотропии кристалла на конструктивные особенности многоканальной ОЛЗ на ПАВ

Известно, что направление минимального затухания ПАВ совпадает с направлением главной оптической оси кристалла, поэтому чаще всего на практике в устройствах на ПАВ используются направления распространения, совпадающие с осями чистых мод, чтобы излучаемый преобразователем пучок был перпендикулярен апертуре преобразователя. Однако, вследствие конечной точности ориентации кристалла и используемых для изготовлений устройств на ПАВ приспособлений, необходимо учитывать эффекты, возникающие вследствие нелинейности пьезоэлектрических кристаллов.

Несмотря на то, что влияние анизотропии пьезоэлектрических кристаллов на дифракцию ПАВ изучено достаточно хорошо, ни в одном издании не сказано, как данное явление отражается на топологии разрабатываемых устройств. Данный эффект при конструировании не может быть устранен полностью, поэтому влияние дифракции может быть учтено расчетным путем и скомпенсировано изменением (оптимизацией) топологии электродной структуры.

Поле ПАВ, генерируемой однородным преобразователем, имеет ближнюю зону излучения или зона дифракции Френеля – область, в которой при распространении волны вдоль оси чистой моды ширина пучка примерно равна апертуре преобразователя. В дальней зоне, или в зоне дифракции Фраунгофера, пучок расходится под углом, зависящим от апертуры преобразователя. Очевидно, что для получения оптимального результата, приемник должен находиться в ближней зоне [2]. Расстояние от входного преобразователя выражается через безразмерный параметр

$$X = \frac{\lambda(1-2\beta)}{W^2}x, \quad (1)$$

где λ – длина ПАВ, W – апертура ВШП, $\beta = -\gamma/2$ – мера локальной анизотропии. Значение $X < 1$ соответствует зоне Френеля, $X > 1$ соответствует зоне Фраунгофера. Исходя из выражения (1), апертура входного преобразователя должна удовлетворять условию:

$$W > \sqrt{\lambda x |1 + \gamma|}, \quad (2)$$

В связи с тем, что в процессе изготовления ОЛЗ присутствует технологическая погрешность при установке фотошаблона, то на распространение ПАВ

будет оказывать влияние дифракция, которая приводит к расхождению пучка ПАВ и потере части энергии акустических волн. Следствием дифракционных эффектов является рост вносимых потерь в ОЛЗ. Поскольку ниобат лития LiNbO_3 анизотропный, характеристика акустической волны зависит от выбранного направления распространения. При распространении волны в зоне Френеля вдоль оси чистой моды влиянием дифракции можно пренебречь, однако при отклонении от кристаллографической оси при установке фотосаблона, влиянием дифракции пренебрегать нельзя [3, 4]. При отклонении волны от направления кристаллографической оси, дифракционное расширение акустических пучков оценивается параметром анизотропии γ (рис. 1). Величина и знак γ определяют степень дифракции ПАВ. Из [2] известно, что при отклонении от кристаллографической оси в пределах $\pm 5^\circ$ параметр анизотропии не изменяется.



Рис. 1. Дифракция пучка ПАВ, излученной ВШП

Чтобы исключить попадание акустической энергии из одного акустического канала в другой необходимо рассчитать угол отклонения ПАВ от оси чистой моды при изменении угла ориентации пьезоэлектрической подложки. Так как отражательные элементы расположены на разном расстоянии от входного ВШП, для корректной оценки отклонения ПАВ достаточно провести вычисления для самого дальнего отражательного элемента с максимальным временем задержки отраженного сигнала. Данный расчет был проведен из условия, что, зная скорость распространения ПАВ и максимальное отклонение от оси чистой моды (задается допусками технологической оснастки), можно определить максимальное отклонение ПАВ.

$$\frac{dj}{d\theta} = \frac{1}{V} \cdot \frac{d^2V}{d\theta^2}. \quad (3)$$

Определив максимальный угол отклонения, рассчитывается минимально допустимое расстояние между акустическими каналами для исключения попадания энергии ПАВ из одного канала в другой.

Изменение направления распространения ПАВ вследствие дифракции приведет к изменению скорости ПАВ, что в свою очередь приведет к изменению времени задержки информационного пакета. Для расчета изменения скорости с учетом дифракции вблизи оси чистой моды можно воспользоваться параболической теорией [5]:

$$V(\theta) = V_0 \left[1 + \frac{\gamma}{2} (\theta - \theta_0)^2 \right], \quad (4)$$

где θ_0 – угол ориентации оси чистой моды (рис. 2).

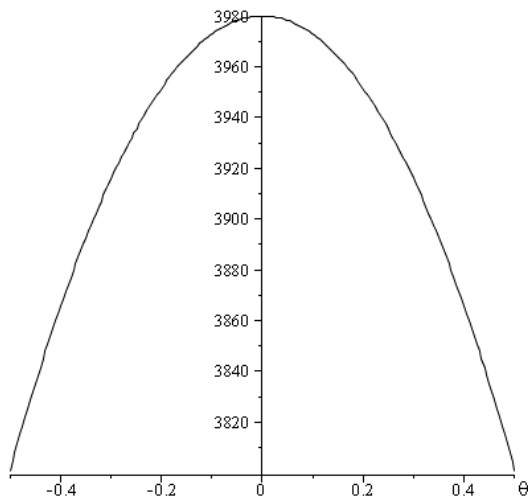


Рис. 2. Изменение фазовой скорости ПАВ при отклонении распространения ПАВ от кристаллографической оси (ось «X» – отклонение от кристаллографической оси θ (град), «Y» – изменение скорости)

Из приведенной выше зависимости видно, что при отклонении от оси чистой моды скорость ПАВ значительно изменяется, и, как следствие, изменяется время задержки информационного сигнала. Полученный результат необходимо учитывать при построении блока обработки информационного сигнала.

Практическая реализация

Для уменьшения влияния переотражений в акустическом канале должно находиться минимальное количество рефлекторов, таким образом, оптимального результата можно добиться, расположив в каждом из акустических каналов по 3 элемента: 2 из которых являются отражательными элементами, формирующими отраженный сигнал, и 1 вх/вых элемент, преобразующий электромагнитный сигнал в акустическую волну и обратно.

Входные преобразователи в ОЛЗ соединены между собой и выполнены в виде ВШП. Все отражательные элементы ОЛЗ также выполнены в виде встречно-штыревых преобразователей в связи с необходимостью внешней регулировки амплитуд импульсов информационного сигнала. Регулировка амплитуд отраженных импульсов необходима для уменьшения неравномерности импульсов информационного сигнала, что упрощает его обработку.

Топология ОЛЗ выполняется на материале подложки LiNbO_3 (0,38,0), т. к. данный материал широко распространен, наиболее отработан технологически, обладает высоким коэффициентом электромеханической связи, низким коэффициентом затухания и отвечает всем необходимым требованиям [6].

Структурная схема восьмиканальной отражательной линии задержки представлена на рис. 3.

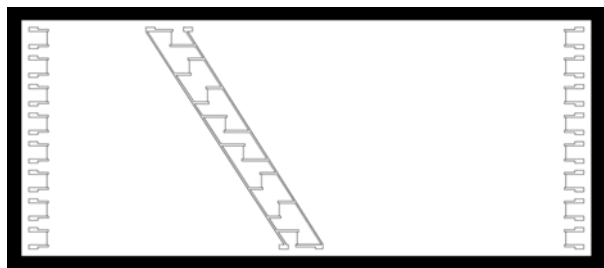


Рис. 3. Структурная схема 8-канальной ОЛЗ

В ходе разработки многоканальной ОЛЗ на ПАВ было проведено моделирование информационного сигнала, в ходе которого были определены оптимальные параметры ВШП, влияющие на формирование импульсов информационного сигнала (рис. 4).

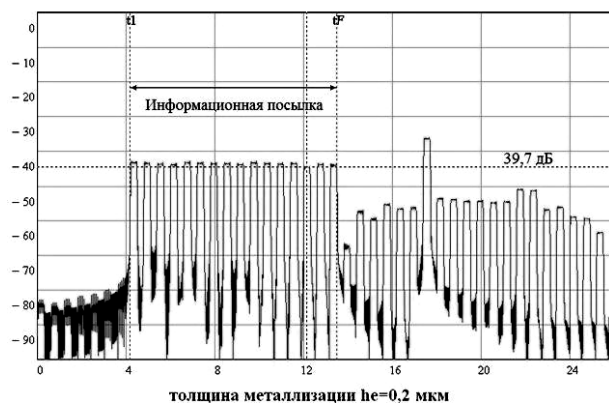


Рис. 4. Расчетные характеристики информационного сигнала многоканальной ОЛЗ

В связи с тем, что отражательные элементы, формирующие первую половину информационного сигнала формируют ложные сигналы (импульсы двойного прохождения), и их временная задержка совпадает с временем задержки информационных импульсов с 10 по 16, был рассчитан максимальный уровень ложных сигналов, сформированных 1–9 отражателями. Отражатели с 10 по 16 формируют ложные сигналы с временем задержки, превышающим

длительность информационного сигнала. При реализации многоканальной ОЛЗ на ПАВ удалось улучшить отношение «сигнал-шум» по амплитуде по сравнению с предшествующими аналогами. В представленном информационном сигнале (рис. 5) исключены основные импульсы, образованные с 10 по 16 ВШП.

На основании проведенного моделирования и расчетов, была разработана многоканальная ОЛЗ на ПАВ (рис. 6), у которой затухание информационного сигнала составило ~35 дБ, а неравномерность импульсов не превысила 5 дБ [7–9]. На рис. 7 представлена осциллограмма информационного сигнала многоканальной ОЛЗ, изображенной на рис. 6.

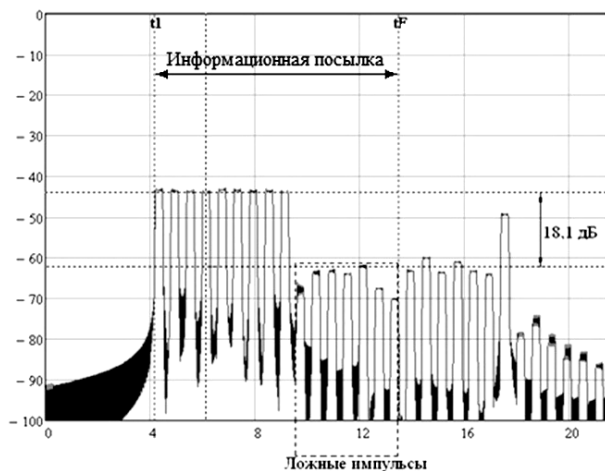


Рис. 5. Расчетные характеристики ложных импульсов, образованных 1–9 ВШП

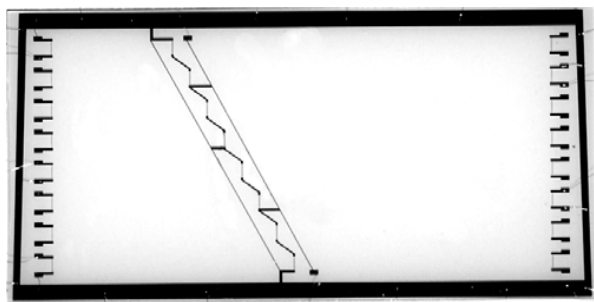


Рис. 6. Многоканальная ОЛЗ на ПАВ

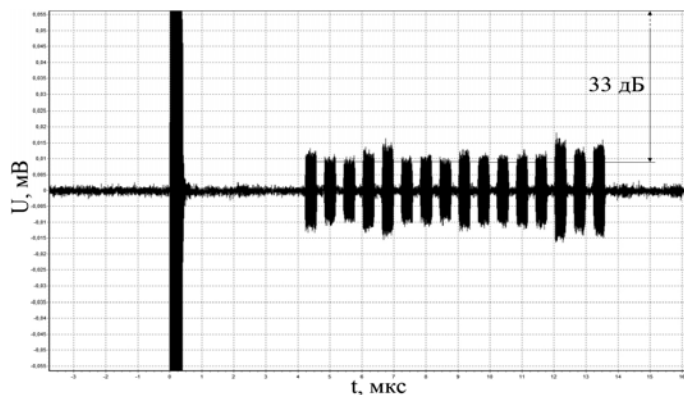


Рис. 7. Осциллограмма информационного сигнала многоканальной ОЛЗ на ПАВ

Выводы

Для оптимизации конструкции многоканальной ОЛЗ на ПАВ были рассчитаны:

– угол отклонения ПАВ от кристаллографической оси в зависимости от ориентации пьезоэлектрической подложки;

– минимальное расстояние, на которое необходимо разнести акустические каналы для исключения попадания энергии ПАВ из одного канала в другой;

– проведены расчеты изменения скорости ПАВ и изменения времени задержки информационного сигнала при максимальном отклонении от кристаллографической оси.

Проведенные расчеты позволили максимально уменьшить габариты разработанной многоканальной ОЛЗ на ПАВ.

В реализованной конструкции многоканальной ОЛЗ на ПАВ значительно улучшен параметр «сигнал – шум», что упрощает возможность кодирования информационного сигнала и его дальнейшую обработку.

Литература

1. Электронная идентификация / В. Л. Дшхунян, В. Ф. Шаньгин. – М.: НТ Пресс, 2004. 695 с.

2. Поверхностные акустические волны / Под ред. А. Олинера. – М.: Мир, 1981. 390 с.

3. Устройства обработки сигналов на поверхностных акустических волнах / Д. Морган. – М: Радио и связь, 1990. 416 с.

4. Материалы для акустоэлектронных устройств / О. Л. Балышева. – СПб: ГУАП, 2005. 50 с.

5. Gloersen P., J. Vac. Sci. Techn., 12, 28 (1975).

6. Результаты экспериментального исследования влияния ионизирующего излучения на отражательные линии задержки на поверхностных акустических волнах / С. П. Дорохов, А. С. Салов – X Межотраслевая конференция по радиационной стойкости: Сборник докладов (г. Саров, 16–19 октября 2012 г.) – Саров: ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», 2014. 445 с.

7. Многоканальная отражательная линия задержки на поверхностных акустических волнах: RU 2522886 C2 / С. П. Дорохов, И. А. Князев, А. С. Салов. – №2012145915/08; Заявл. 26.10.2012. Оpubл. 20.07.2014 Бюл. № 20.

8. Отражательная линия задержки: RU 2567186 C1 / С. П. Дорохов, И. А. Князев, А. С. Салов – № 2014136510/28; Заявл. 08.09.2014. Оpubл. 10.11.2015 Бюл. № 31.

9. Многоканальная отражательная линия задержки на ПАВ и способ кодирования RU 2576504 C1 / С. П. Дорохов, И. А. Князев, А. С. Салов – № 2014135065/08; Заявл. 26.08.2014. Оpubл. 10.03.2016 Бюл. №7.