

УДК 534.24

СРЕЗЫ НИОБАТА ЛИТИЯ ДЛЯ ФИЛЬТРОВ  
С 90°-ОТРАЖЕНИЕМ ВЫТЕКАЮЩИХ УПРУГИХ ВОЛН

© 1994 г. А. И. Козлов

Институт радиотехники и электроники РАН  
141120 Фрязино Московской обл., ул. Введенского, 1

Поступила в редакцию 14.10.93 г.

В последние годы вытекающие (псевдоповерхностные) акустические волны в пьезоэлектрических кристаллах все шире используются в устройствах акустоэлектроники [1 - 3]. Разработчиков привлекают сравнительно высокие скорость распространения и константа электромеханической связи, позволяющие при существующей технологической базе повысить рабочие частоты и уменьшить вносимые потери устройств. Ясно, что в первую очередь вытекающие упругие волны будут опробованы в уже отработанных геометриях существующих приборов на поверхностных акустических волнах (ПАВ) Рэлея. В ряде таких приборов, а именно в дисперсионных [4] и кольцевых полосовых фильтрах [5] используется 90°-отражение волны Рэлея от периодического рельефа на поверхности звукопровода. Учитывая все вышесказанное, а также то обстоятельство, что псевдоповерхностные упругие волны существуют не во всех срезах и направлениях пьезокристаллов, представляет интерес исследование их свойств в перпендикулярном к кристаллографической оси  $X$  направлении наиболее практически важных 41°- $YX$ - и 64°- $YX$ -срезов ниобата лития (рис. 1). Расчету свойств упругих волн в таких направлениях и посвящено данное сообщение.

На рис. 2 приведены скорости вытекающей, рэлеевской и двух поперечных объемных волн, а также коэффициент затухания вытекающей волны в зависимости от угла  $\theta$  в 41°- $YX$ -срезе. Видно, что при  $\theta = 90^\circ$ , т. е. в направлении перпендикуляра к оси  $X$ , коэффициент затухания псевдоповерхностной волны становится исчезающе малым, а картина скоростей имеет интересные особенности. Так, псевдоповерхностная волна, как показывают расчеты, вырождается в волну рэлеевского типа со скоростью распространения 3708.8 м/с на свободной поверхности и 3708.1 м/с – на металлизированной. Эта волна состоит из двух компонент упругого смещения, лежащих в сагиттальной плоскости и сопровождаемых волной электростатического потенциала. Зависимости компонент упругого смещения и электростатического потенциала в этой волне от глубины при  $\theta = 90^\circ$  представлены на рис. 3. Отметим еще, что в данном направлении медленная сдвиговая волна, поляризованная в плоскости поверхности кристалла и имеющая скорость 3499.1 м/с, не связана с электростатиче-

ским потенциалом и удовлетворяет граничным условиям на поверхности, а решение, соответствующее ПАВ Рэлея со скоростью, меньшей скорости любой из объемных волн, отсутствует. Подобный случай вырождения псевдоповерхностной волны в рэлеевскую для направления [110] на плоскости (001) кристалла никеля был в свое время описан Дж. Фарнеллом [6]. Своеобразие рассматриваемых здесь срезов состоит в том, что при  $\theta = 90^\circ$  рэлеевская ветвь решения не вырождается в медленную сдвиговую.

Свойства упругих волн вблизи направления  $\theta = 90^\circ$  в 64°- $YX$ -срезе ниобата лития аналогичны описанным для 41°- $YX$ -среза, а зависимости упругих смещений и потенциала от глубины при  $\theta = 90^\circ$  лишь немного отличаются от представленных на рис. 3 масштабом, поэтому соответствующие кривые здесь не приводятся. Отметим лишь, что скорость вырожденной псевдоповерхностной волны в направлении  $\theta = 90^\circ$  ниобата лития 64°- $YX$ -среза равна 3875.8 м/с на свободной поверхности и 3847.1 м/с – на металлизированной при скоростях объемных поперечных волн 4386.2 и 3719.6 м/с.

Таким образом, показано, что вытекающая (псевдоповерхностная) акустическая волна в перпендикулярном к кристаллографической оси  $X$  направлении 41°- $YX$ - и 64°- $YX$ -срезов ниобата лития вырождается в пьезоактивную волну рэлеевского типа, упругие компоненты которой лежат в сагиттальной плоскости кристалла, а скорость распространения превышает скорость самой медленной из объемных волн. Эти срезы можно использовать в устройствах с 90°-отражением вытекающих волн.

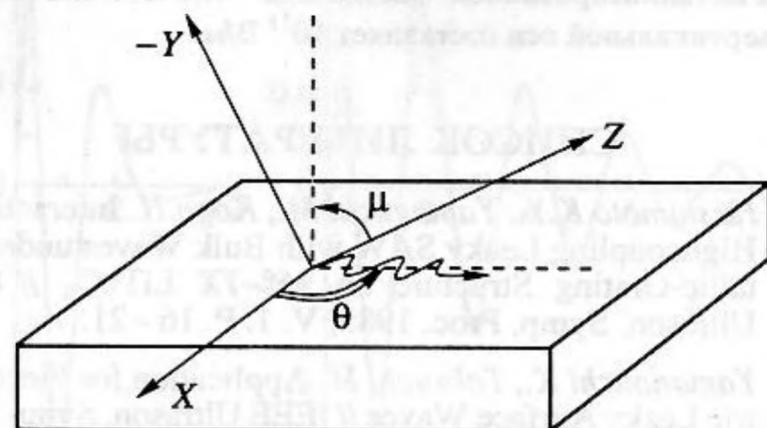


Рис. 1. Геометрия задачи. Для 41°- $YX$ -среза угол  $\mu = 41^\circ$ , для 64°- $YX$ -среза  $\mu = 64^\circ$ .

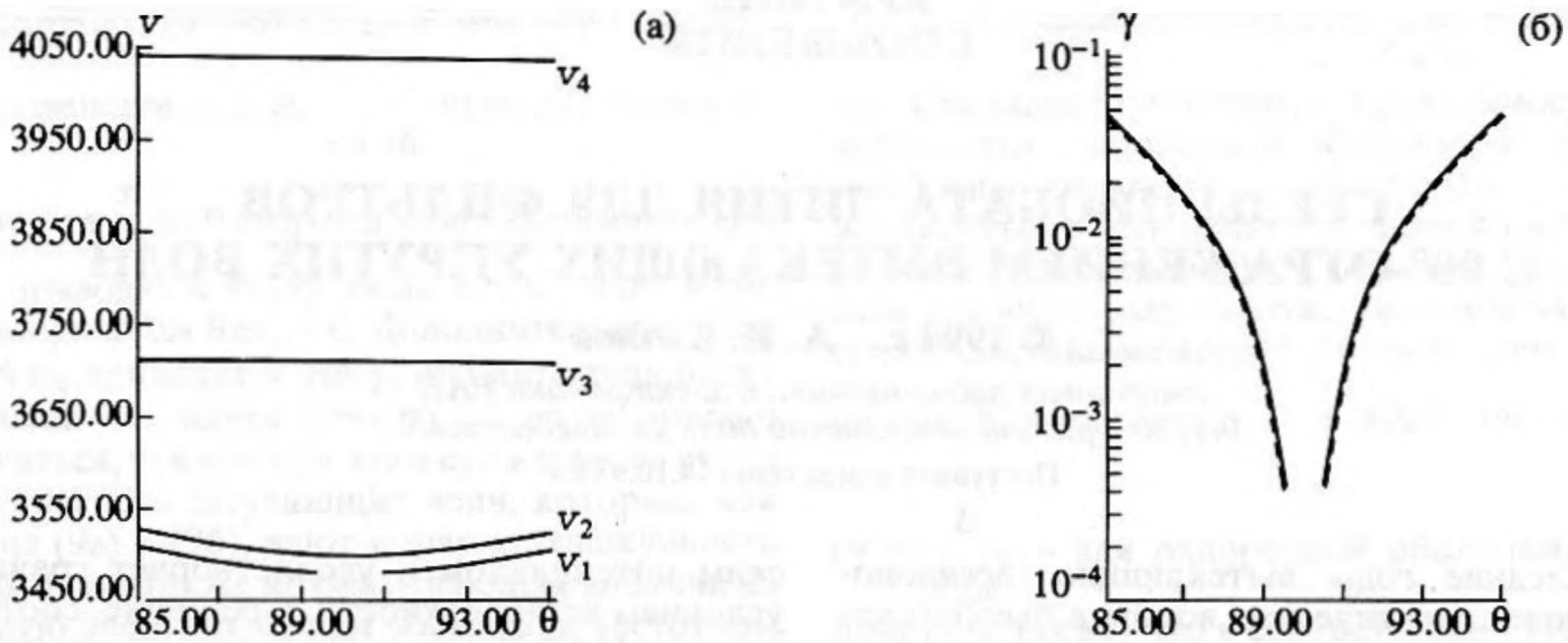


Рис. 2. Зависимости скоростей упругих волн и коэффициента затухания для вытекающей волны от угла поворота  $\theta$  направления распространения в ниобате лития  $41^\circ$ -YX-среза. Угол  $\theta$  выражен в градусах, скорости – в метрах в секунду, коэффициент затухания – в децибелах на длину волны. а – скорости акустических волн;  $v_1, v_2, v_3$  и  $v_4$  – соответственно скорости волны Рэлея, медленной объемной поперечной волны, вытекающей волны и быстрой поперечной объемной волны (скорости рэлеевской и вытекающей волн на свободной и на металлизированной поверхностях в данном диапазоне углов различаются очень мало); б – коэффициент затухания вытекающей волны.

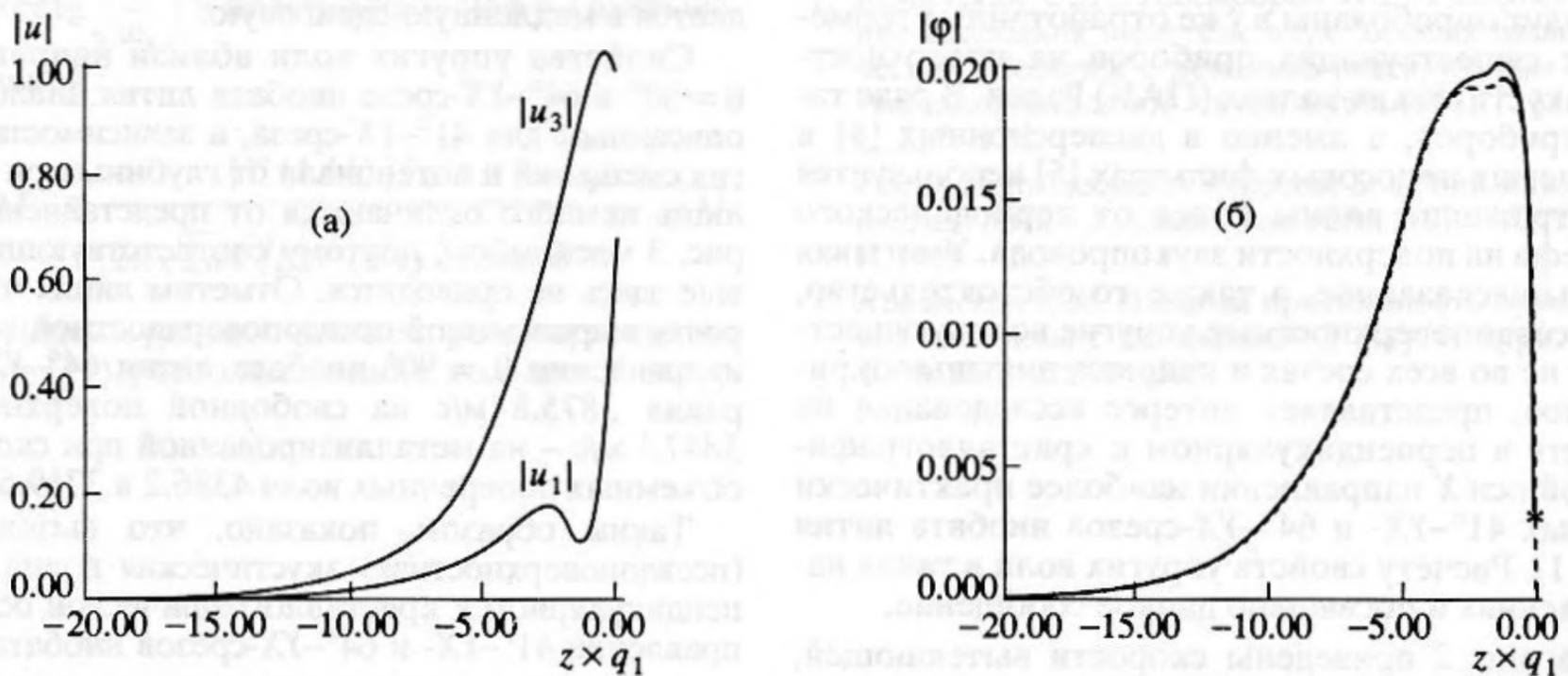


Рис. 3. Зависимость относительных амплитуд компонент вытекающей волны от глубины при  $\theta = 90^\circ$  для ниобата лития  $41^\circ$ -YX-среза.  $z$  – глубина,  $q_1$  – действительная часть компоненты волнового вектора в направлении распространения; а – амплитуды компонент упругого смещения ( $u_3$  – вертикальная компонента,  $u_1$  – горизонтальная); в масштабе рисунка различия между амплитудами составляющих упругих смещений на свободной и на металлизированной поверхностях неразличимы; амплитуда вертикальной компоненты упругого смещения на поверхности принята за единицу; б – электростатический потенциал. Сплошные кривые относятся к свободной поверхности кристалла, штриховые – к металлизированной. Звездочкой отмечено значение потенциала на свободной поверхности. Единица измерения по вертикальной оси составляет  $10^{11}$  В/м.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Hashimoto K.Y., Yamaguchi M., Kogo H. Interaction of Highcoupling Leaky SAW with Bulk Waves under Metallic-Grating Structure on  $36^\circ$ -YX LiTaO<sub>3</sub> // IEEE Ultrason. Symp. Proc. 1985. V. 1. P. 16 - 21.
2. Yamanouchi K., Takeuchi M. Application for Piezoelectric Leaky Surface Waves // IEEE Ultrason. Symp. Proc. 1990. V. 1. P. 11 - 18.
3. Доберштейн С.А., Малюхов В.А. Самосогласованные кольцевые фильтры на ПАВ с малыми потерями // Изв. вузов СССР. Радиоэлектроника. 1991. Т. 34. Вып. 10. С. 105 - 108.
4. Морган Д. // Устройства обработки сигналов на поверхностных акустических волнах. М.: Радио и связь, 1990. С. 416.
5. Furuya N., Miyama H., Nakayama Y., Kino Y. A SAW Ring Filter with a Phase Matching Electrode // IEEE Ultrason. Symp. Proc. 1980. V. 1. P. 169 - 172.
6. Фарнелл Дж. Свойства упругих поверхностных волн // Физическая акустика: Принципы и методы / Под ред. Мэзона У. и Терстона Р. М.: Мир, 1973. Т. 6. С. 139 - 202.