

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 θ 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.

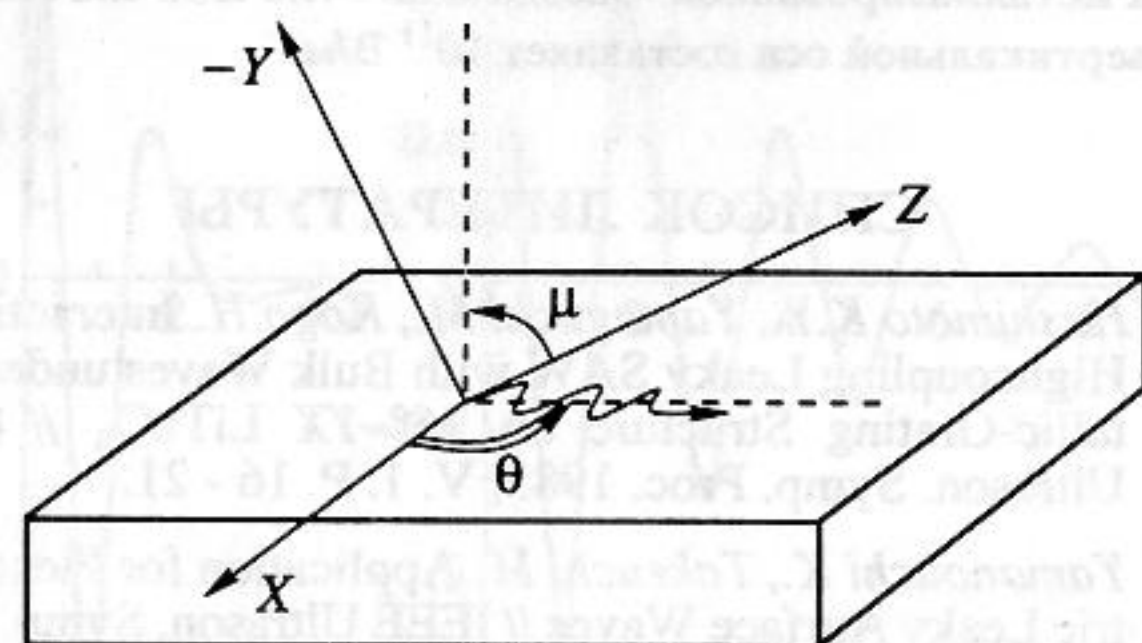


Рис. 1. Геометрия задачи. Для 41°- YX -среза угол $\mu = 41^\circ$, для 64°- YX -среза $\mu = 64^\circ$.

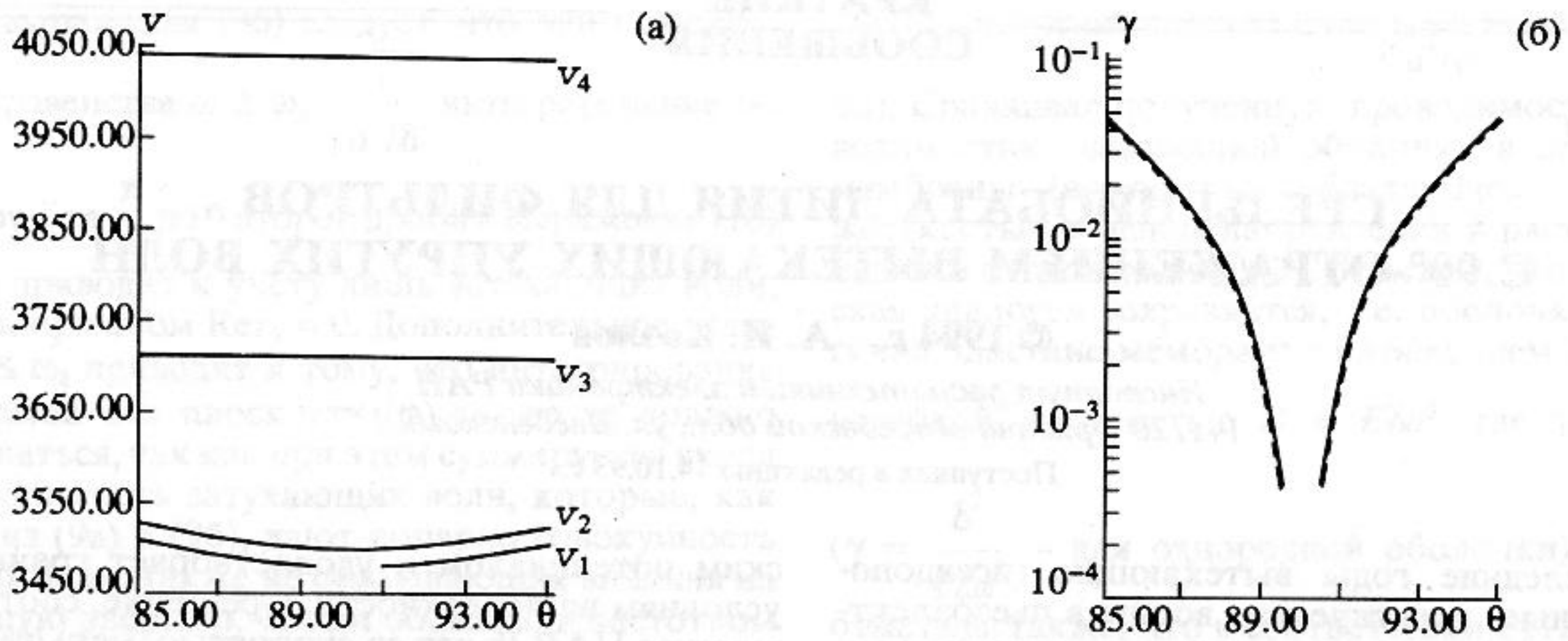


Рис. 2. Зависимости скоростей упругих волн и коэффициента затухания для вытекающей волны от угла поворота θ направления распространения в ниобате лития 41° -YX-среза. Угол θ выражен в градусах, скорости – в метрах в секунду, коэффициент затухания – в децибелах на длину волны. а – скорости акустических 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.

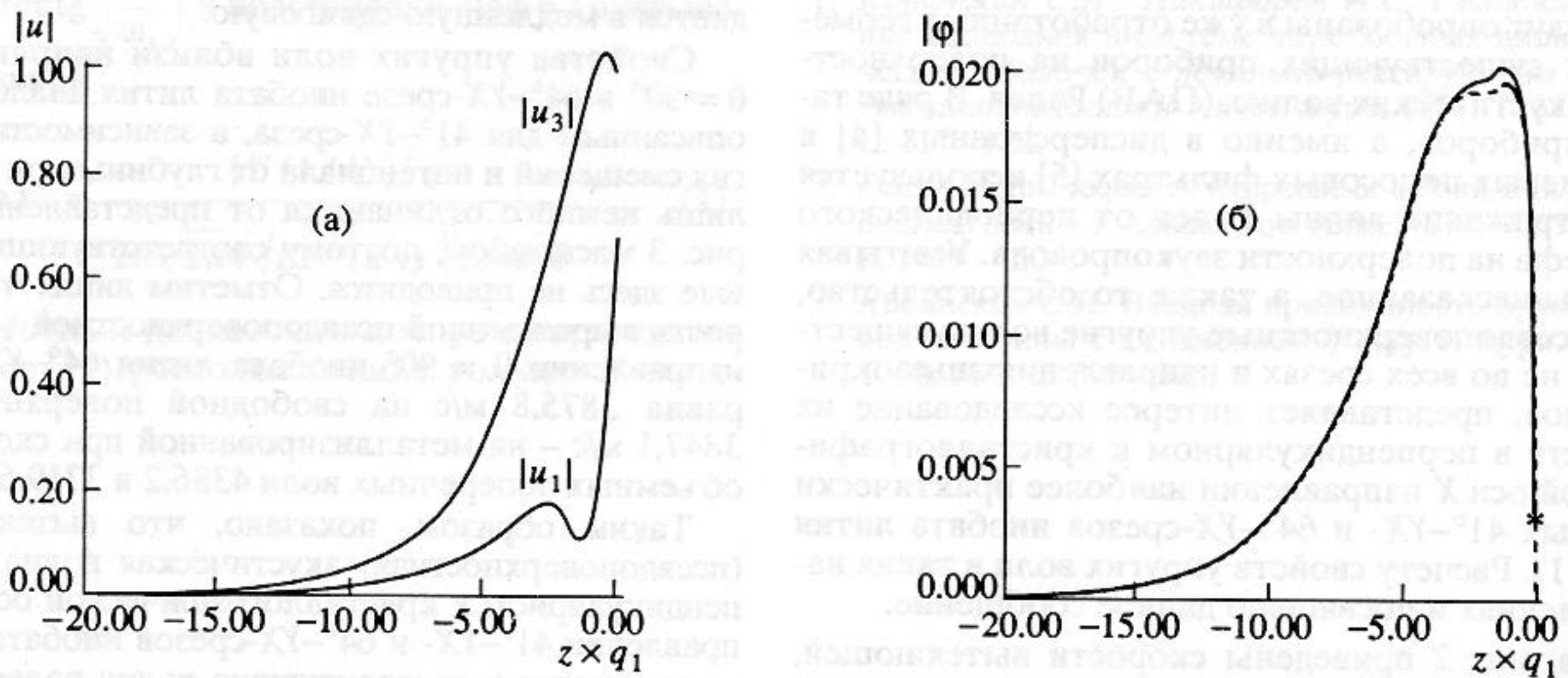


Рис. 3. Зависимость относительных амплитуд компонент вытекающей волны от глубины при $\theta = 90^\circ$ для ниобата лития 41° -YX-среза. z – глубина, q_1 – действительная часть компоненты волнового вектора в направлении распространения; а – амплитуды компонент упругого смещения (u_3 – вертикальная компонента, 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° -YX LiTaO₃ // 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.