

08;12

Эмиссия поверхностной акустической волны при распространении приповерхностной объемной акустической волны

© С.Г. Сучков

Саратовский государственный университет им. Н.Г. Чернышевского

Поступило в Редакцию 19 января 1998 г.

Обнаружено, что при распространении приповерхностной объемной акустической волны (ПОАВ) происходит возбуждение поверхностной акустической волны (ПАВ), направленной под углом к ПОАВ.

Приповерхностная объемная акустическая волна (ПОАВ) не является собственной волной упругого полупространства, так как не удовлетворяет граничным условиям на поверхности [1], которым удовлетворяет поверхностная акустическая волна (ПАВ), и, следовательно, не существует без источника возбуждения. Строго говоря, термином "ПОАВ" обозначается часть углового спектра объемных акустических волн, возбуждаемых источником, расположенным вблизи поверхности пьезоэлектрического кристалла, которые распространяются под небольшими углами к поверхности и при этом их электрическое поле вносит ощутимый вклад в поверхностный электрический потенциал [2]. Однако хорошим приближением является представление ПОАВ в виде плоской объемной акустической волны с волновым вектором, направленным вглубь кристалла, но с параллельным поверхности кристалла вектором групповой скорости [3]. Далее будем использовать это представление.

Как известно, акустическое волновое сопротивление пропорционально скорости распространения акустической волны. Поэтому волновое сопротивление любой приповерхностной объемной волны больше волнового сопротивления поверхностной волны. Приповерхностную область упругой среды можно рассматривать как совокупность четырех каналов для распространения упругой энергии — трех каналов для объемных и одного канала для поверхностной волны. В соответствии с принципом наименьшего действия, при наличии несколь-

ких каналов распространения упругой энергии с разным волновым сопротивлением возникает перекачка энергии из канала с большим волновым сопротивлением (большой скоростью) в каналы с меньшим волновым сопротивлением. Фазовое условие возбуждения медленной поверхностной волны при распространении быстрой приповерхностной волны $k_s \cos \theta = k_b$, где k_s — волновое число ПАВ, k_b — волновое число ПОАВ, аналогично фазовому условию в эффекте Вавилова–Черенкова, а направление распространения поверхностной волны по отношению к приповерхностной определяется ”черенковским” углом $\theta = \arccos(v_s/v_b)$.

Для теоретического анализа этого явления методом конечных разностей решалась модельная краевая задача возбуждения изотропного упругого четвертьпространства источником продольной волны, расположенным вблизи поверхности $y = 0$ (рис. 1, *a*). Расчеты показали, что при малых x амплитуда упругих смещений \mathbf{u} точек на поверхности $y = 0$ близка к нулю, но при дальнейшем возрастании расстояния от источника амплитуда упругих смещений u_y начинает увеличиваться по закону, близкому к экспоненциальному. Также возникают и увеличиваются в той же мере компоненты u_x и u_z , что указывает на осуществление процесса возбуждения поверхностной волны с направлением распространения под углом $\theta = \arctg(u_z/u_x)$ к направлению приповерхностной волны. Штриховая линия показывает модуль вектора смещения точек на поверхности \mathbf{u} в зависимости от координаты x .

Для экспериментальной проверки этого явления было изготовлено на *ST*-срезу кварца устройство в виде фильтра с возбуждением волн вдоль оси *X* (рис. 1, *b*), содержащего один входной встречно-штыревой преобразователь (ВШП) с центральной частотой ПАВ ~ 80 МГц (обозначен цифрой 1) и два выходных ВШП, из которых один такой же как входной (2), а другой с центральной частотой ПАВ ~ 145 МГц (3) повернут на некоторый угол и смещен от оси, соединяющей входной и первый выходной преобразователи. Периоды этих преобразователей отличались приблизительно в 1.79 раза в соответствии с отношением скорости продольной приповерхностной волны к скорости поверхностной волны. Расстояние между центрами ВШП № 1 и ВШП № 2 составляло 11 мм, ”черенковский” фазовый угол с учетом анизотропии скорости ПАВ в соответствии с расчетом [4] составил $\theta = 56.2^\circ$. Вследствие отклонения потока энергии ПАВ на угол $\Delta\theta = -9.4^\circ$ штыри в ВШП № 3 отклонены от перпендикуляра к оси ВШП на такой же угол, а угол наклона оси ВШП № 3 к оси *X* составил $\approx 46^\circ$.

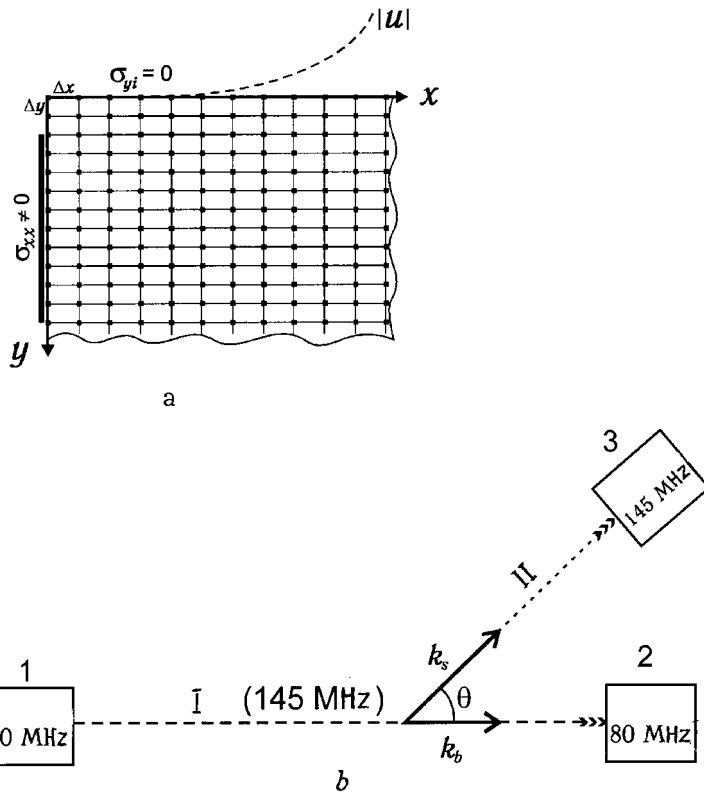


Рис. 1. Схемы теоретического моделирования (а) и экспериментального обнаружения (б) эмиссии ПАВ (II) при распространении ПОАВ (I).

При подаче на входной ВШП № 1 сигнала на частоте ~ 145 MHz эффективно возбуждалась продольная приповерхностная волна, которая принималась первым выходным ВШП № 2 с несогласованными потерями ~ 40 dB (рис. 2), а со второго выходного ВШП № 3 на частоте ~ 145 MHz был снят сигнал от поверхностной волны, соответствующий вносимым потерям — 56 dB. Рассмотрим, из чего складывается такой уровень сигнала. Фильтр, состоящий из двух ВШП № 1 и ВШП № 2 при работе на ПОАВ продольной поляризации на частоте ~ 145 MHz

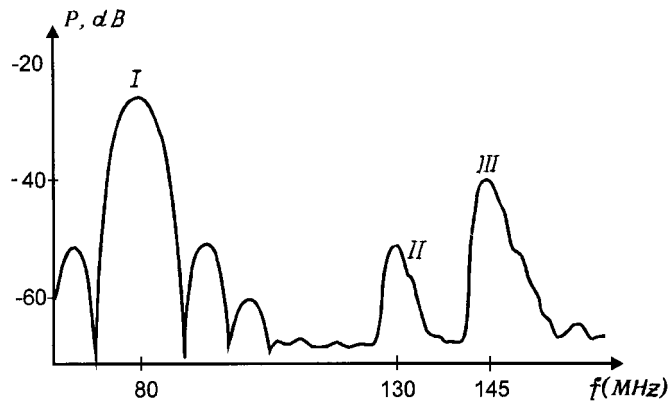


Рис. 2. Амплитудно-частотная характеристика фильтра из ВШП № 1 и ВШП № 2.

(отклик ПОАВ (L) на рис. 2) имел несогласованные потери 40 dB. Учитывая, что дифракционные потери приповерхностной волны для условий эксперимента составляют около 3 dB [2], вносимые входным ВШП № 1 потери имеют величину около 18 dB. Вносимые потери второго выходного ВШП № 3 при приеме синхронной ПАВ на частоте ~ 145 MHz составляли (как и для ВШП № 1 и ВШП № 2 на частоте 80 MHz) около 13 dB. Таким образом, только преобразователи вносят приблизительно 31 dB потерь. Поверхностная волна возбуждается на всем пути распространения приповерхностной волны, поэтому при апертуре ВШП № 3 ~ 1 mm может быть снято около 10% от всего потока энергии ПАВ, что дает еще 10 dB потерь. Симметричность излучения ПАВ вносит 3 dB потерь.

В результате остается около 12 dB потерь, которые определяют долю потерянной приповерхностной волной энергии вследствие эмиссии поверхностной волны на всем пути распространения $\sim 300\lambda$.

Такой уровень эмиссии не оказывает существенного влияния на вносимые потери фильтра на продольной приповерхностной волне, изготовленного на ST -срезах кварца, но при использовании других срезов и кристаллов уровень эмиссии ПАВ может значительно возрасти. В исследованном фильтре вследствие отражения ПАВ от боковых граней кристалла заметно искажается импульсный отклик и, следовательно,

амплитудно-частотная характеристика фильтра. Это хорошо видно на рис. 2, где отклики от продольной (ПОАВ-*L*) и быстрой поперечной (ПОАВ-*FT*) приповерхностных волн имеют нарушенную (по сравнению с откликом от ПАВ) симметрию и форму. Поэтому в устройствах на ПОАВ целесообразно боковые грани кристалла делать рассеивающими.

В заключение выражаю благодарность В.И. Федосову (ИРЭ РАН) за помощь и полезные обсуждения.

Список литературы

- [1] *Ballato A., Lukaszek T.J.* // IEEE Trans. 1979. V. MTT-27. № 12. P. 1004–1012.
- [2] *Межуев Д.И., Заславский А.М., Сучков С.Г.* // РЭ. 1985. Т. XXX. № 9. С. 1713–1718.
- [3] *Сучков С.Г.* и др. // РЭ. 1985. Т. XXX. № 2. С. 373–377.
- [4] *Казачкова Т.И., Сучков С.Г.* // ЭТ. Сер. 1. 1979. В. 1. С. 114–115.