АКУСТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

Том XXIV 1978 Вып. 6

УДК 534.24

# ИЗМЕРЕНИЕ МАЛЫХ ЗАТУХАНИЙ И ИЗМЕНЕНИЙ СКОРОСТИ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОЛН

*В. Д. Базаров, В. Б. Басанов, Г. Б. Доржин, И. Г. Симаков*

Предложена методика измерения малых затуханий и изменений скорости ультразвуковых поверхностных волн на подложке из пьезоэлектрика, основанная на их интерференции. Представлены экспериментальные результаты по исследованию зависимости затухания поверхностных волн от давления при нахождении системы в атмосфере воздуха и аргона.

Ультразвуковые поверхностные волны являются основой не только способов создания функциональных устройств для обработки сигналов, но и методов изучения состояний реальной поверхности твердых тел [1]. Изучение акустоэлектронного взаимодействия поверхностных волн в системе пьезоэлектрик — полупроводник позволяет определять коэффициент электромеханической связи, электропроводность и эффективную подвижность носителей зарядов в приповерхностном слое полупроводника [2, 3]. В работе [4] указывается, что на распространение поверхностных волн заметно влияет окружающая газовая среда. Установление закономерностей влияния окружащей среды на распространение поверхностных волн позволит выявить природу взаимодействия частиц различных газов с поверхностью пьезоэлектрика, по которой распространяется волна. Однако при исследовании малых изменений затухания и скорости поверхностных волн в результате акустоэлектронного взаимодействия или вследствие влияния газовой среды приходится использовать весьма сложную измерительную аппаратуру [4].

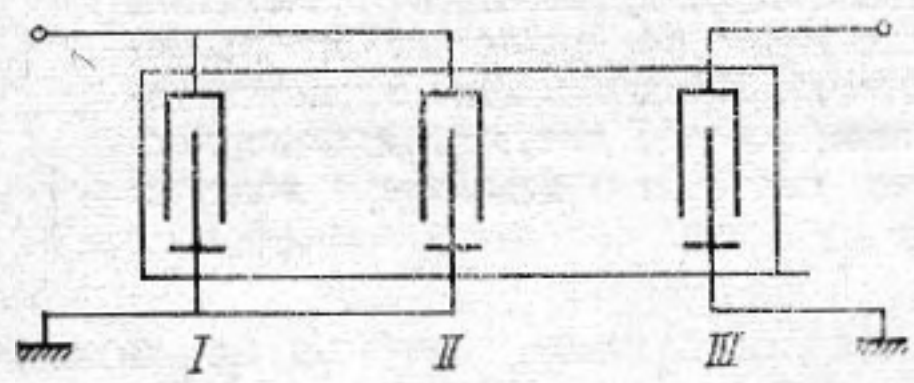
Ниже рассматривается метод измерения малых изменений затухания и скорости поверхностных волн, основанный на их интерференции. Рассмотрим систему из двух излучающих встречно-штыревых преобразователей I и II, соединенных параллельно и подключенных к генератору высокой частоты, и приемного преобразователя III (фиг. 1). Для простоты допустим, что оба преобразователя прямоугольны, расстояния между электродами одинаковы и межэлектродное перекрытие постоянно по длине. Смещения в бегущей волне от излучающих преобразователей I и II в точке $x_0$ будут описываться выражениями:

$$U^{\mathrm{I}}(k, x_0)=A_1(k)\sin[\omega t-k(x'-x_0)],$$
$$U^{\mathrm{II}}(k, x_0)=A_2(k)\sin[\omega t-k(x'+L-x_0)], \tag{1}$$

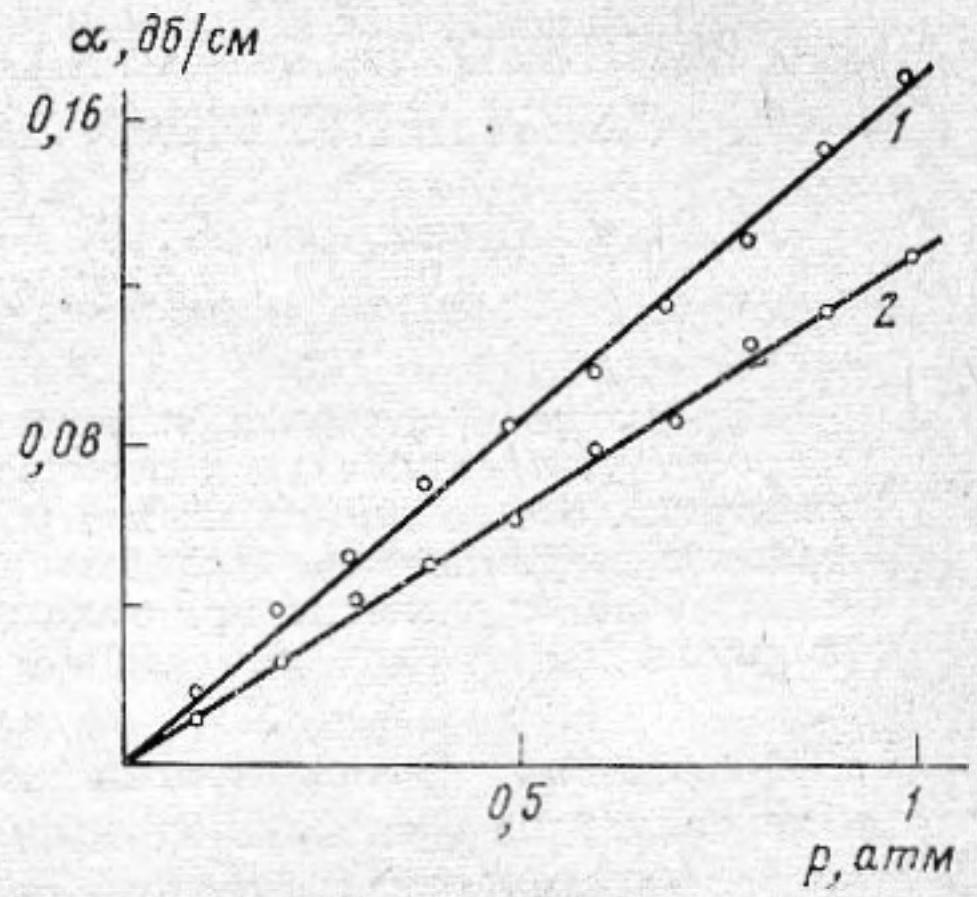
где $A_1(k)$ и $A_2(k)$ — амплитуды взаимодействующих волн, $\omega$ — циклическая частота, $t$ — время, $k$ — волновое число, $L$ — расстояние между центрами излучающих преобразователей. Нетрудно показать, что при $L=n\lambda+\lambda/2$ и равенстве амплитуд $A_1(k)=A_2(k)$

$$U^{\mathrm{I}}(k, x_0)+U^{\mathrm{II}}(k, x_0)=0, \tag{2}$$

т. е. в результате сложения волн в определенном частотном интервале рабочей полосы за пределами системы излучающих преобразователей поля поверхностных волн нет. Любое нарушение этих условий приведет к тому, что на приемном преобразователе III появится сигнал. Причиной подобного нарушения может стать изменение условий распространения поверхностных волн по подложке: изменение давления окружающей атмосферы, температуры, воздействие внешней силы и т. д. Сигнал, который зафиксирует регистрирующий прибор, будет следствием изменения или фазы, или амплитуды одной из взаимодействующих волн, или одновременного изменения обеих величин.




Фиг. 1




Фиг. 2

Фиг. 1. Схема расположения преобразователей на звукопроводе для измерения малых затуханий и изменений скорости поверхностных волн

Фиг. 2. Зависимость затухания поверхностных волн от давления при распространении в среде аргона (*1*) и воздуха (*2*)

Для простоты анализа допустим, что фаза одной из волн изменилась на $\Delta\varphi$, а амплитуды волн остались без изменения. Значение сигнала, принимаемое преобразователем III, будет

$$[U^{III}(k, x_0)]^2 = 2[U^{I}(k, x_0)]^2(1-\cos\varphi). \tag{3}$$

Поскольку $\varphi = kL = 2\pi Lf/v$, изменение фазы будет связано с изменением или расстояния между центрами излучающих преобразователей, или скорости распространения поверхностных волн. При неизменном $L$ мы имеем $\Delta v/v = \Delta f/f$, а при неизменном $v$ $\Delta L/L = -\Delta f/f$. Регулируя частоту генератора на $\Delta f$, можно компенсировать все изменения, происшедшие в излучающей системе, и снова получить нулевое значение выходного сигнала. По величине $\Delta f$ можно судить об изменении скорости поверхностных волн $\Delta v$ или об относительном изменении $\Delta L/L$.

Предположим теперь, что фазового сдвига не произошло, а изменилась амплитуда одной из волн. Сигнал, принимаемый преобразователем III, $U^{III} \sim A_1(k) - A_2(k)$, от частоты не зависит и определяется разностью амплитуд, т. е. изменением затухания одной из волн по сравнению с опорной.

В общем случае происходит одновременное изменение и амплитуды и фазы одной из взаимодействующих волн в результате изменения условий распространения поверхностных волн по подложке. На приемном преобразователе III появится суммарный сигнал, обусловленный обеими причинами. Для разделения составляющих сигнала необходимо использовать различную степень их зависимости от частоты генератора. Путем изменения частоты генератора на $\Delta f$ нужно скомпенсировать ту часть

сигнала на преобразователе III, которая вызвана изменением фазы $\Delta\varphi$. По величине остаточного сигнала, отличного от нуля, можно определить изменение амплитуды волны и, следовательно, изменение затухания.

Для экспериментальной проверки описываемого метода было проведено исследование зависимости затухания и изменения фазовой скорости поверхностных волн, распространяющейся по пьезоэлектрической подложке от давления окружающего воздуха или иного газа. В качестве пьезоэлектрических подложек использовались ниобат лития $YZ$-среза размером 5×0,7×0,1 см и кристаллический кварц $XY$-среза размером 10×2×0,2 см. На полированную поверхность кварца или ниобата лития напылением наносилась пленка алюминия толщиной 800 Å, и с помощью механической гравировки или фотолитографией наносились три встречно-штыревых преобразователя. Число пар электродов во встречно-штыревом преобразователе на кварцевой подложке равнялось 30, а на ниобате лития 10, апертура преобразователей изменялась в пределах 25—50 длин волн, а расстояние $L$ между центрами излучающих преобразователей было ~1,5 см. Два излучающих преобразователя соединялись между собой параллельно и подключались к высокочастотному генератору. В результате интерференции волн выходной сигнал на выходе преобразователя III должен быть равен нулю. Однако, поскольку достижение полной тождественности излучающих преобразователей в реальных случаях весьма затруднительно, регистрирующее устройство, содержащее усилитель с большим коэффициентом усиления, всегда обнаруживает некоторый минимальный сигнал. С другой стороны, при использовании рассматриваемого метода нет необходимости в достижении нулевого сигнала, достаточно добиться лишь минимума на выходе приемного преобразователя.

Для измерения затухания поверхностных волн в зависимости от давления атмосферы воздуха и аргона образец помещался в объем, в котором создавался вакуум до $10^{-4}$ мм рт. ст. и затем вводился газ. Давление газа измерялось вакуумметром и манометром. Температура поддерживалась неизменной, комнатной. Результаты измерения приведены на фиг. 2. Наклон кривых зависит от влажности и молекулярного веса газа. Полученные данные находятся в удовлетворительном согласии с результатами работы [4].

По уходу частоты $\Delta f$ производилась оценка величины изменения скорости распространения поверхностных волн $\Delta v$ от давления газа и изменения длины подложки с температурой. Метод позволяет регистрировать изменение скорости волны с точностью до $5 \cdot 10^{-6} v$ и определять изменение длины подложки с точностью до долей микрона.

## ЛИТЕРАТУРА


1. *Богданов С. В., Яковкин И. Б.* Использование поверхностных упругих колебаний для измерения некоторых характеристик полупроводниковых пленок. Acta Phys. Acad. Sci. Hungar., 1968, *24* (4), 337—345.
2. *Богданов С. В., Левин М. Д., Яковкин И. Б.* Определение подвижности носителей заряда в поверхностном слое полупроводника по усилению упругих поверхностных волн. ФТП, 1974, *8*, 6, 1191—1194.
3. *Васькова В. И., Викторов И. А., Талашев А. А.* Исследование акустоэлектрических характеристик пьезополупроводниковых кристаллов ультразвуковыми методами. Акуст. ж., 1976, *22*, 1, 17—22.
4. *Slobodnik A. J., Jr.* Attenuation of Microwave Acoustic Surface Wave due to Gas Loading. J. Appl. Phys. 1972, *43*, 6, 2565—2568.



Институт естественных наук
Бурятский филиал
СО Академии наук СССР



Поступила
9 ноября 1977 г.
После повторного исправления
24 мая 1978 г.