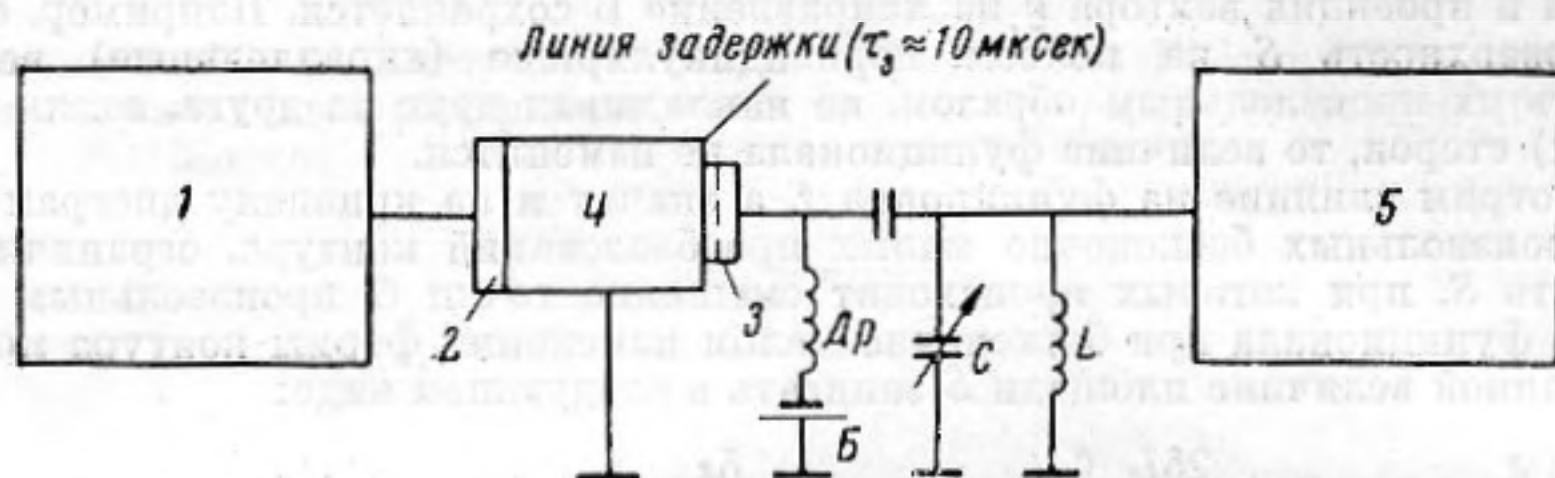


ИССЛЕДОВАНИЕ $p-n$ ПЕРЕХОДОВ ИЗ GaAs В РЕЖИМЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ КОЛЕБАНИЙ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ

С. Н. Иванов, Н. Е. Скворцова, Б. Г. Степанов

В настоящее время уделяется большое внимание возможности использования $p-n$ переходов, выполненных на основе пьезоэлектрических полупроводников, для преобразования ультразвуковых колебаний в электрические, и наоборот [1, 2]. В данной работе исследовались диоды из GaAs с целью выяснения влияния геометрических размеров базы на эффективность работы такого преобразователя. Изучать это влияние можно, изменяя определенным образом соотношение между толщиной базы d и длиной волны воздействующих ультразвуковых колебаний $\lambda_{зв}$, и наблюдая соот-



Фиг. 1

ветственную частотную зависимость эффективности преобразования. В связи с этим измерения производились на частотах, удовлетворяющих условию $d \sim \lambda_{зв}$.

Исследовались диоды, изготовленные методом диффузии цинка в пластинки из GaAs n -типа, ориентированные по толщине в направлении {111}. Блок-схема экспериментальной установки приведена на фиг. 1. Возбуждающее напряжение с частотой $7 \div 14$ мГц от импульсного генератора 1 подавалось на кварцевую пластину 2 с основной резонансной частотой 12 мГц. Так как для определения частот, соответствующих максимумам преобразованного сигнала, абсолютное значение их величин не существенно, то при экспериментах можно было использовать одну кварцевую пластину. Метод измерений заключался в том, что на исследуемый диод 3 через ультразвуковую линию задержки 4, изготовленную из алюминия, со временем задержки $\tau_{зад} \approx 10$ мксек подавался прямоугольный ультразвуковой импульс длительностью 5 мксек с синусоидальным заполнением [3, 4]; электрические импульсы $u_{пр}$ на выходе испытуемого диода наблюдались с помощью электронного осциллографа 5. Акустический контакт кварцевой пластины с ультразвуковой линией задержки осуществлялся с помощью трансформаторного масла, исследуемый же диод приклеивался к металлическому блоку линии токопроводящим клеем. Нагрузкой для диода являлся колебательный контур LC , настроенный на частоту заполнения; напряжение смещения $u_{см}$ подавалось на диод от источника постоянного тока Б через дроссель Dr , отделенный от контура разделительным конденсатором. На фиг. 2 приведена упрощенная схема испытуемого диода, механически присоединенного к линии задержки; здесь 1 — торец блока линии задержки, 2 — запирающий слой диода, обладающий толщиной W , 3 — базовая область диода, обладающая толщиной d .

В результате экспериментов выявилась определенная зависимость напряжения преобразованного сигнала от частоты ультразвуковых колебаний. Было установлено, что максимальная величина преобразованного сигнала наблюдается, когда толщина базовой области диода d связана с длиной звуковой волны $\lambda_{зв}$ соотношением

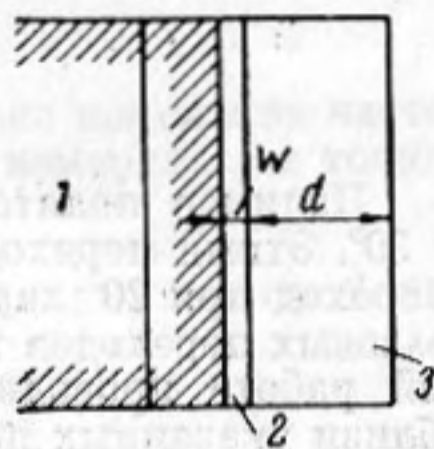
$$d \approx \frac{\lambda_{зв}}{4} (2n + 1), \quad n = 0, 1, 2, \dots \quad (1)$$

В наших опытах величина d составляла $1,7 \cdot 10^{-1}$ см, что в использованном диапазоне частот соответствовало $\sim 3 \div 5 \lambda_{зв}$ и позволяло наблюдать несколько частот ($5 \div 6$), соответствующих максимуму преобразованного сигнала. Следует также отметить, что полуширина кривой максимумов была около 0,2 мГц, а расстояния между максимумами около 1 мГц. Наличие такой зависимости напряжения преобразованного сигнала от частоты может быть объяснено тем, что при выполнении усло-

вия (1) запирающий слой оказывается в пучности давления стоячих волн, возникающих вследствие отражения ультразвуковой волны от свободной поверхности кристалла, и находится под максимальным воздействием. Таким образом, структура диода аналогична структуре составного вибратора, работающего в условиях одностороннего излучения, для которого, согласно работе [5], справедливо такое же соотношение.

Кроме того, для составного вибратора известен еще ряд закономерностей, которые также были нами проверены для диодов. Так, напряжение преобразованного сигнала ($u_{пр}$) для составного вибратора должно быть пропорционально толщине преобразующего слоя W (при условии $W \ll \lambda_{зв}$). Для диодов наблюдалась следующая зависимость $u_{пр}$ от напряжения смещения на $p-n$ переходе $u_{см}$

$$u_{пр} \sim u_{см}^{\alpha}, \quad (2)$$



Фиг. 2

где $\alpha \simeq 0,3 \div 0,4$. Зависимость толщины запирающего слоя от напряжения смещения для исследуемых диодов имела вид

$$W \sim \sqrt[3]{u_{см}} \quad (3)$$

и, следовательно, имела место пропорциональность:

$$u_{пр} \sim W. \quad (4)$$

Абсолютная величина преобразованного сигнала для вибратора составляет

$$u_{пр} \simeq pgW, \quad (5)$$

где p — звуковое давление, g — пьезоконстанта, которая определялась по результатам измерений пьезоэлектрических и упругих постоянных GaAs, приведенным в работах [6, 7], $W \simeq 2 \cdot 10^{-5}$ см — толщина преобразующей области. Оценка величины $u_{пр}$ для диодов по формуле [5] дала удовлетворительное совпадение по порядку величины с результатами экспериментов, проводившихся на резонансной частоте кварцевого излучателя при одновременном выполнении условия (1). Работа на резонансной частоте кварцевого излучателя позволяла по известной амплитуде возбуждающего напряжения оценить величину звукового давления p [3].

Проведенные эксперименты позволяют сделать заключение, что для электроакустического преобразователя на диоде применима модель составного вибратора. Эффективность преобразования, естественно, существенно зависит от выбора геометрических размеров диода.

ЛИТЕРАТУРА

1. D. L. White. Depletion layer transducer — a new high frequency ultrasonic transducer. IRE International Convention Record, 1961, 6, p. 304—310.
2. C. A. Hogarth. Semiconductor transducers. Brit. J. Appl. Phys., 1964, 15, 2, 121—129.
3. Л. Бергман. Ультразвук и его применение в науке и технике (пер. с нем.), 2-е изд. М., ИЛ, 1957.
4. У. Мезон. Пьезоэлектрические кристаллы и их применение в ультразвуке (пер. с англ.), М., ИЛ, 1952.
5. А. А. Харкевич. К расчету пьезоэлектрических вибраторов. Ж. техн. физ., 1945, XV, 4—5, 212—222.
6. T. B. Bateman, H. I. McSkimmin, J. M. Whelan. Elastic moduli of single-crystal gallium arsenide. J. Appl. Phys., 1959, 30, 4, 544.
7. E. J. Charlson, G. Mott. Dynamic measurements of piezoelectric and elastic constants of gallium arsenide. Proc. IEEE, 1963, 51, 9, 1239.

Институт радиотехники
и электроники АН СССР

Поступило в редакцию
6 июля 1964 г.