ных наполнителей приводит к отклонению от линейности, что указывает на более сложные структурные изменения полимера в присутствии активных добавок по причине значительного взаимодействия между компонентами.

Характер изменения вязкоупругих свойств наполненного пластифицированного поливинилхлорида указывает на различный механизм пластификации систем с активными и инертными наполнителями. В присутствии инертных наполнителей дибутилфталат приводит к снижению исследуемых параметров в большей степени, чем для чистого полимера. Это объясняется значительным уменьшением межмолекулярного взаимодействия в системе и возрастанием подвижности надмолекулярных образований. Активные наполнители уменьшают подвижность структурных элементов, и введение пластификатора не приводит к резкому уменьшению модулей, хотя в дальнейшем наблюдается закономерное снижение жесткости материала вследствие возрастания подвижности макромолекул полимера.

Таким образом, полученные экспериментальные данные показывают, что исследование вязкоупругих свойств наполненного пластифицированного поливинилхлорида ультразвуковым методом позволяет сделать определенные выводы о структурных изменениях на границе раздела фаз полимер — наполнитель в сложных гетерогенных системах. Температурные зависимости модулей и скорости звука характеризуют два физических состояния полимера с переходной областью и позволяют рекомендовать полимерные материалы для различных динамических и температурных режимов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Получение и свойства поливинилхлорида. Под ред. Е. Н. Зильбермана. М., «Химия», 1968.
2. Р. Е. Грим. Минералогия глин. М., ИЛ, 1956.
3. Б. С. Колупаев, М. В. Венедиктов, В. П. Дущенко, Ю. Г. Тарасенко. Физико-механические и теплофизические свойства наполненного поливинилхлорида. Физико-химическая механика дисперсных материалов. Тезисы докл. Всесоюз. конф., Минск, 1969, стр. 39.
4. R. Kono. The dynamic bulk viscosity of polystyrene and polymethyl metharylate. J. Phys. Soc. Japan, 1960, 15, 4, 718—726.
5. H. A. Waterman. Determination of the complex moduli of viscoelastic materials with the ultrasonic pulse method. P. I, II. Koll. Z. und Z. Polymere, 1963, 192, 1—2, 1—16.
6. И. Н. Разинская, Б. П. Штаркман, П. В. Козлов. Влияние типа пластификации поливинилхлорида на его физические свойства. Высокомолек. соед., 1964, 5, 6, 472—478.
7. Д. Ферри. Вязкоупругие свойства полимеров. М., ИЛ, 1963.
8. И. А. Чабан. Расчет эффективных параметров микронеоднородных сред методом самосогласованного поля. Акуст. ж., 1965, 11, 1, 102—110.
9. В. М. Меркулова. Акустические свойства некоторых твердых гетерогенных сред на ультразвуковых частотах. Акуст. ж., 1965, 11, 1, 68—74.

Киевский государственный университет

Поступило в редакцию 20 января 1970 г.

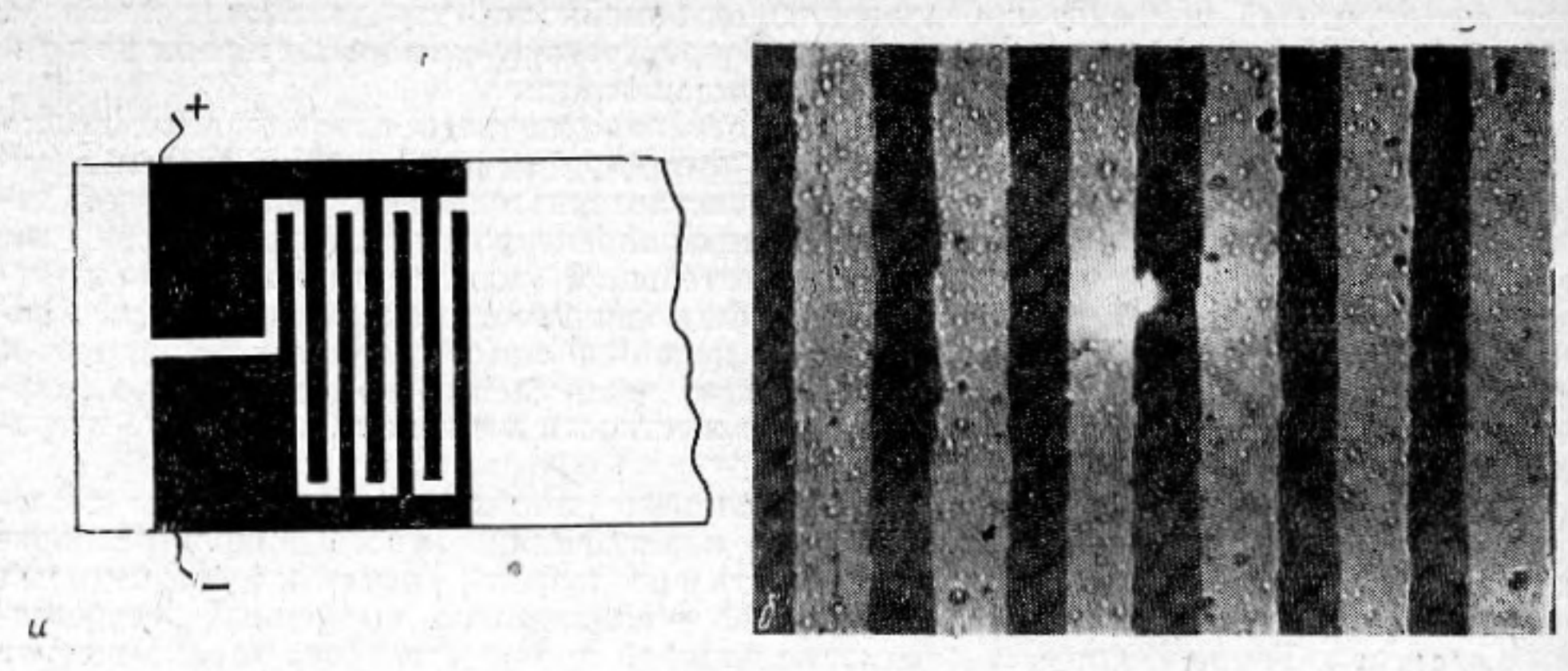
УДК 534.232

ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ ДЛЯ ВОЗБУЖДЕНИЯ И ПРИЕМА ВЫСОКОЧАСТОТНЫХ ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОЛН, ПОЛУЧАЕМЫЕ ГРАВИРОВКОЙ

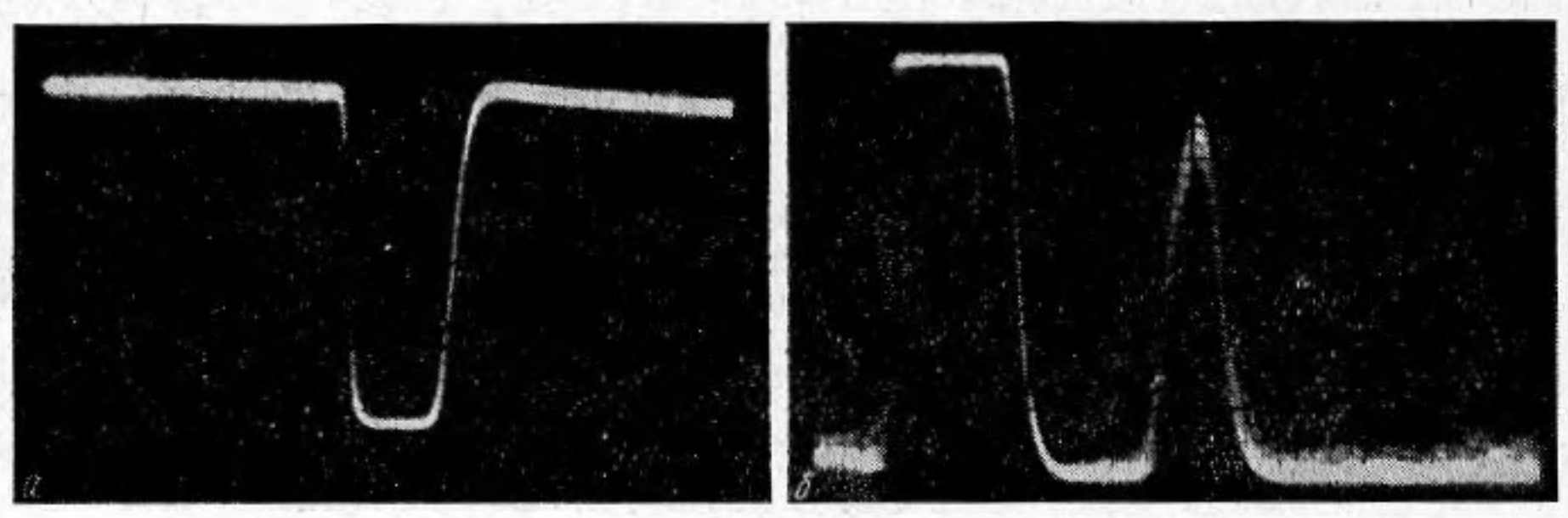
И. А. Викторов, А. А. Талашев

В настоящее время поверхностные рэлеевские волны в диапазоне 10^6—10^9 *гц*, как правило, возбуждаются в пьезоэлектрических кристаллах посредством создания на их поверхностях системы гребенчатых металлических электродов, к которым подводится электрическое напряжение [1]. Электроды представляют собой параллельные друг другу тонкие металлические полоски, расположенные друг от друга на расстоянии λ_R (однофазная система) или $\lambda_R / 2$ (двухфазная система), где λ_R — длина рэлеевской волны в кристалле. Данный метод возбуждения является, по существу, разновидностью метода гребенчатой структуры [2, 3].

Известны три основных способа изготовления названных систем электродов: бомбардировка металлической пленки электронным пучком [4], фототравление [5] (нанесение на пленку фотоэмульсии, освещение ее через специальную «маску» и травление) и механическая гравировка резцом [6]. Два первых способа весьма сложны и требуют уникального оборудования. Более простой третий способ считается применимым до сравнительно низких частот $\simeq 100$ *Мгц*. Нами показано, что механической гравировкой, легко осуществимой в любой физической лаборатории, можно изгото-



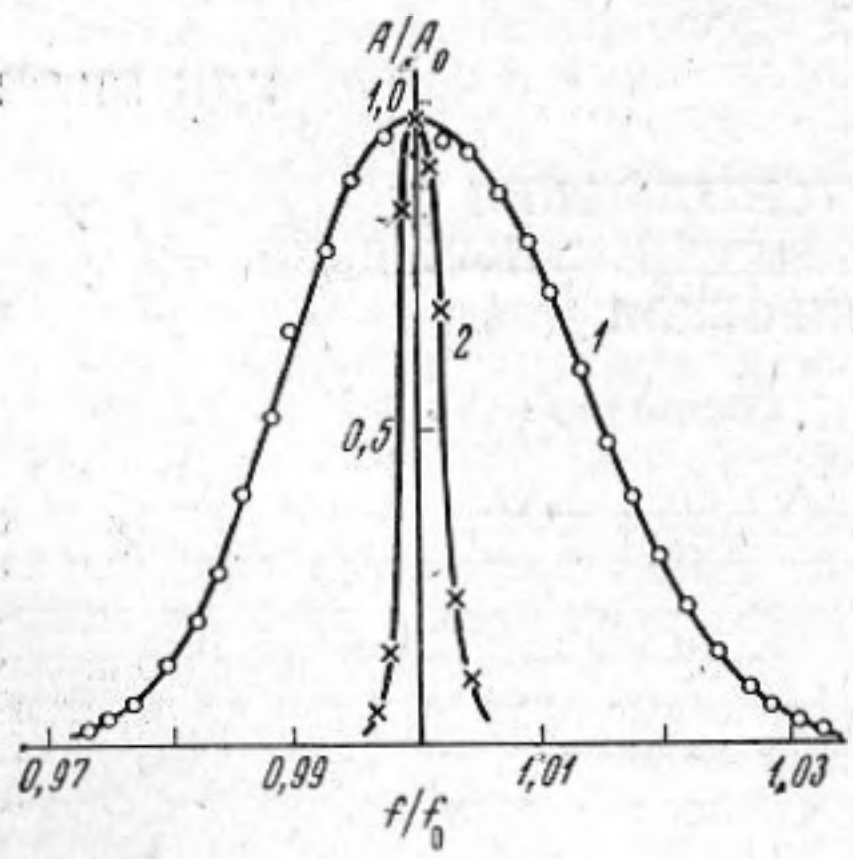
Фиг. 1



Фиг. 2

вить излучатели и приемники рэлеевских волн, хорошо работающие вплоть до частоты $\simeq 700$ *Мгц*. Ниже кратко описываются метод изготовления и параметры таких преобразователей.

Преобразователи изготовлялись следующим образом. На оптически гладкую поверхность *Y*-среза кварца вакуумным напылением наносилась алюминиевая пленка толщиной 0,05—0,1 *мк*. Другие металлы (медь, олово, серебро) давали пленки с худшим сцеплением с кварцем и были менее удобны для гравировки. Механической гравировкой из пленки получалась двухфазная система гребенчатых металлических электродов (фиг. 1, *а*). Гравировка осуществлялась на стандартном приборе МС-2 (Микротом санный) резцом с горизонтальной подачей. Победитовый резец затачивался и доводился с помощью алмазной пасты так, что ширина его режущей кромки была в пределах $100 \div 4$ *мк*. Электрические контакты осуществлялись тонкими медными проволочками, припаиваемыми к алюминиевой пленке.



Фиг. 3

Описанным методом нами были изготовлены преобразователи с пространственным периодом от 10 *мк* и больше, что соответствует для кварца основной частоте $\simeq 180$ *Мгц* и ниже. Неточность в сохранении пространственного периода структуры была не более 0,5 *мк*, что позволяло уверенно работать на третьей, пятой и седьмой гармониках. Это поднимало рабочую частоту преобразователей до 700 *Мгц*. Число металлических электродов в преобразователе могло изменяться от единиц до нескольких сотен, минимальная ширина электрода составляла 4 *мк*, длина менялась в пределах $5 \div 30$ *мм*, расстояние между излучающим и приемным преобразователями могло быть $1 \div 28$ *мм*.

В качестве примера приведем параметры и характеристики одной пары наших преобразователей. Система их гребенчатых электродов изображена на фиг. 1, *б* (фото под микроскопом при увеличении в 300 раз, расстояние между серединами поло-

сок соответствует 18 *мк*). Преобразователи имели по 50 пар электрода шириной 10 *мк*, длиной 20 *мм*. Расстояние между приемной и излучающей гребенками было 25 *мм*. На фиг. 2 приведены осциллограммы импульсов рэлеевских волн длительностью 3 *мксек* после усиления и детектирования: *а* — 90 *Мгц*, *б* — 630 *Мгц* (левый пик на осциллограмме *б* — электрическая наводка). На фиг. 3 изображены частотные характеристики данных преобразователей на частоте $f_0 = 90$ *Мгц* (кривая *1*) и $f_0 = 630$ *Мгц* (кривая *2*, A / A_0 — отношение амплитуды к максимальной амплитуде, f / f_0 — отношение частоты к оптимальной частоте). Потери на двойное электроакустическое преобразование на частотах 90, 270, 450, 630 *Мгц* составляли, соответственно, 29, 38, 58, 80 *дб*.

Оценивая возможности описанного метода изготовления гребенчатых электродов, необходимо отметить следующее. Минимальный пространственный период системы электродов может быть около 8 *мк*. Для двухфазной структуры на кварце *Y*-среза это соответствует частоте основной гармоники 200 *Мгц*. Для достаточно твердых материалов (кристаллический кварц, плавленый кварц, стекло) при гравировке электродов поверхность подложки совершенно не повреждается. На поверхностях мягких материалов (например, CdS) гребенчатые электроды тоже могут быть изготовлены гравировкой, но поверхность будет с периодическими пазами глубиной в несколько микрон.

ЛИТЕРАТУРА

1. R. M. White, F. W. Voltmer. Direct piezoelectric coupling to surface elastic waves. Appl. Phys. Let., 1965, 7, 12, 314—316.
2. А. Г. Соколинский. Способ возбуждения и приема поверхностных волн. Авт. свид., 162373 от 24 июня 1958 г. Бюл. изобр., 1964, 9.
3. И. А. Викторов. Исследование методов возбуждения рэлеевских волн. Акуст. ж., 1961, 7, 3, 295—306.
4. A. N. Broers, E. G. Lean, M. Hatzakis. 1, 75 GHZ Acoustic — surface wave transducer fabricated by an electron beam. Appl. Phys. Let., 1969, 15, 3, 98—101.
5. R. M. White. Surface elastic — wave propagation and amplification. JEEE Transactions, 1967, ED—14, 4, 181—189.
6. И. Я. Кучеров, И. В. Островский. Возбуждение волн Лэмба в монокристаллах CdS. Физ. тв. тела, 1968, 10, 9, 2814—2815.

Акустический институт АН СССР
Москва

Поступило в редакцию
14 сентября 1970 г.

УДК 534.232

ВОЗБУЖДЕНИЕ ЗВУКОВОГО ПОЛЯ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕМ, НАГРУЖЕННЫМ НА ЖИДКИЙ КЛИН

И. В. Вовк

Рассмотрим преобразователь П бесконечной длины, излучающей поверхностью которого является часть поверхности цилиндра радиуса r_0 (фиг. 1). На излучающей поверхности S задано некоторое распределение нормальной составляющей колебательной скорости $V_r(\varphi) = V_0 f(\varphi)$. Преобразователь нагружен на бесконечный жидкий клин, на гранях которого выполняются следующие граничные условия:

$$\Phi = 0 \Big|_{\substack{\varphi=0 \\ \varphi=\varphi_0}}, \tag{1}$$

где Φ — потенциал скорости.

Как известно [1], звуковое поле в жидком клине может быть представлено решением уравнения Гельмгольца с граничными условиями (1). Принимая временной множитель в форме $e^{j\omega t}$, имеем

$$\Phi = \sum_{n=1}^{\infty} A_n \sin\left(\frac{n\pi}{\varphi_0}\varphi\right) H^{(2)}_{n\pi/\varphi_0}(kr), \tag{2}$$

где $H^2_{n\pi/\varphi_0}(kr)$ — функция Ханкеля второго рода порядка $n\pi / \varphi_0$, $k = \omega / c$, ω — круговая частота, c — скорость звука.