

УДК 534.2

К. К. Ермилин  
И. В. Ермолаева  
Е. М. Кораблев  
В. Е. Лямов

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ АКУСТОЭЛЕКТРОННЫХ ЭФФЕКТОВ В ПОЛУПРОВОДНИКАХ МЕТОДОМ «МОСТИКА»

В последнее время взаимодействие электронов с поверхностными акустическими волнами (ПАВ) в полупроводниках и особенно в слоистых системах пьезоэлектрик — полупроводник начинает находить применение для создания различных устройств обработки сигнальной информации, таких как конволюторы, корреляторы, устройства акустической памяти и др. [1—3]. Параметры таких устройств определяются эффективностью взаимодействия ПАВ с электронами проводимости в полупроводниковом кристалле. Для экспериментального исследования эффективности взаимодействия существует ряд методов, среди которых особого внимания заслуживает метод «мостика»

[4, 5], основанный на явлении перехода ПАВ с одной пьезоэлектрической линии задержки на другую через слой жидкости или систему встречно-штыревых электродов.

Метод «мостика», предложенный в [4], позволяет исследовать акустоэлектронные эффекты с ПАВ как в пьезоэлектрических,

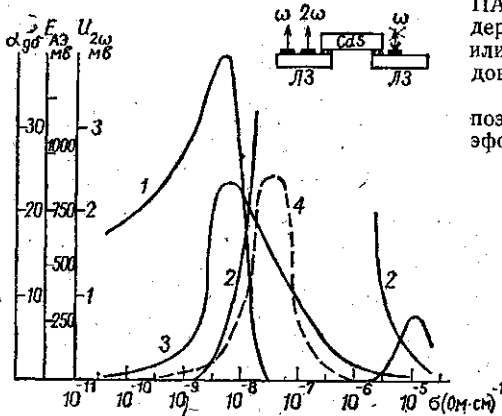


Рис. 1. Зависимости амплитуды волны второй гармоники  $u_{2\omega}$  (1), коэффициента затухания ПАВ основной частоты  $\alpha$  (2), напряжения продольного акустоэлектрического эффекта  $u_{a.e.}$  (3), напряжения поперечного акустоэлектрического эффекта  $u_{a.e.}$  (4) от проводимости образцов сернистого кадмия  $\sigma$ ; ЛЗ — линия задержки ПАВ на YZ-срезах ниобата лития; — преобразователь встречно-штыревого типа

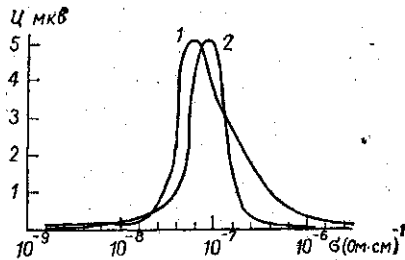


Рис. 2. Зависимость амплитуды сигнала акустической свертки двух ПАВ в изотропной плоскости сернистого кадмия от проводимости  $\sigma$ : 1 — продольный, 2 — поперечный съем

так и в непьезоэлектрических полупроводниках. При этом можно изучать анизотропию таких эффектов. Кроме того, открытый доступ практически ко всем поверхностям полупроводникового монокристалла значительно упрощает исследование, например, поперечного акустоэлектрического эффекта, съем сигнала которого в слоистых структурах возможен только с помощью емкостных электродов [6].

В данном сообщении приводятся результаты исследования методом «мостика» линейных и нелинейных явлений, связанных с ПАВ, распространяющимися в фотопроводящих кристаллах сернистого кадмия в изотропной плоскости. Исследуемый кристалл полупроводника располагался между двумя линиями задержки из ниобата лития. При потерях на преобразование встречно-штыревой системой электродов около 9 дБ вносимые потери системы «мостика» были на частоте 15 МГц 40 дБ. Для наблюдения генерации ПАВ второй гармоники на линию задержки напылялись также преобразователи на двойную частоту. Чтобы избежать генерации волны второй гармоники ПАВ в ниобате лития, эти преобразователи наносились как можно ближе к исследуемому монокристаллу (см. рис. 1). Возможность одновременного наблюдения сигналов акустоэлектрического эффекта, волны второй гармоники и волны основной частоты также является одним из достоинств данного метода. Для этих сигналов были сняты зависимости от проводимости образцов сернистого кадмия, которые показаны на рис. 1. Изменение проводимости монокристаллов сернистого кадмия осуществлялось с помощью осветителя ОИ-24. Амплитуда сигнала второй гармоники была на 30 дБ ниже амплитуды волны основного сигнала.

Как видно из рис. 1, при увеличении проводимости возрастает акустоэлектрическое напряжение и амплитуда ПАВ второй гармоники и увеличивается затухание ПАВ основной частоты, т. е. с ростом концентрации электронов в кристалле сернистого

кадмия увеличивается эффективность взаимодействия ПАВ с электронами. При дальнейшем увеличении концентрации электронов проводимости амплитуда второй гармоники уменьшается как вследствие сильного затухания волны основной частоты, так и вследствие экранирования пьезоэлектрических полей кристалла возникшим объемным зарядом. Первый фактор играет большую роль, поскольку амплитуда основной волны и волны второй гармоники ПАВ уменьшаются практически до нуля. Однако упругая нелинейность тоже приводит к генерации волны второй гармоники, что проявляется при еще больших проводимостях кристалла. В этом случае большую роль играет объемный заряд, который практически полностью экранирует пьезоэлектрическое поле кристалла, и пьезополупроводник можно рассматривать как полупроводник без пьезоэффекта. На рис. 1 приведены также зависимости напряжения продольного и поперечного акустоэлектрического эффекта в зависимости от проводимости.

Известно, что при малых проводимостях электронное затухание мало и пропорционально проводимости, поэтому акустоэлектрический ток также пропорционален проводимости, т. е. существует линейная область возрастания акустоэлектрического напряжения от проводимости. Создавая с помощью неравномерной подсветки локальные неоднородности проводимости, можно с помощью короткого импульса ПАВ наблюдать, как эти неоднородности проводимости проявляются в сигнале акустоэлектрического напряжения. Этот эффект может использоваться для сканирования однородных оптических образов [7].

При подаче двух радиоимпульсов одинаковой частоты на преобразователи, расположенные с разных сторон кристалла полупроводника, наблюдалось встречное взаимодействие ПАВ. Импульс удвоенной частоты снимался с электродов, нанесенных на боковые поверхности полупроводникового кристалла, представлял собой акустическую свертку двух сигналов. На рис. 2 изображена зависимость сигнала свертки для различного типа съема — продольного и поперечного — от проводимости сернистого кадмия. Максимумы сигнала свертки для различного типа съема находятся при различных проводимостях.

Совпадение полученных результатов с имеющимися теоретическими и экспериментальными данными из литературных источников показывает, что данная методика исследования акустоэлектронных эффектов в полупроводниках является удобной для оценки их эффективности и исследования анизотропии. Она также может найти применение для определения ряда характеристик пьезополупроводниковых и полупроводниковых монокристаллов с помощью ПАВ.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Kino G. S., Ludvik S. et al. «IEEE Trans. Sonics and Ultrasonics», 1973, SU-20, 162.
2. Кайно Г., Шоу Дж. «Успехи физических наук», 1974, 113, 157.
3. Коршак Б. А., Лямов В. Е., Солодов И. Ю. «Письма в ЖЭТФ», 1976, 23, 438.
4. Гончаров К. В., Крышневая Г. В., Маматова Т. А., Сулейманов С. Х. «Акустический журнал», 1975, 21, 527.
5. Кмита А. М., Медведь А. В., Мушкаренко Ю. Н., Федорец В. Н. «Акустический журнал», 1976, 22, 299.
6. Гуляев Ю. В., Кмита А. М., Медведь А. В., Федорец В. Н. «Письма в ЖЭТФ», 1974, 20, 700.
7. Takada S., Hayakawa H., Mikoshiba N. «Appl. Phys. Lett.», 1973, 23, 415.

Поступила в редакцию  
20.6 1976 г.  
Кафедра  
акустики

УДК 534—12

М. И. Аржанов  
Ф. В. Рожин  
О. С. Тонаканов

РАДИАЛЬНАЯ И АЗИМУТАЛЬНАЯ СТРУКТУРА  
БЛИЖНЕГО ЗВУКОВОГО ПОЛЯ  
ПРИ РАССЕЯНИИ ПЛОСКОЙ ВОЛНЫ  
НА КРУГЛОМ ЦИЛИНДРЕ

В работе [1] рассматривалась задача о ближнем поле звукового давления и колебательной скорости при рассеивании плоской звуковой волны на бесконечном круговом цилиндре радиуса  $r_0$  с акустически мягкой и жесткой границами. В этой работе приведено аналитическое решение для компонентов скорости и проведен расчет структуры поля для точки, удаленной на расстояние  $r = 1,2r_0$  от оси цилиндра. Полученные в [1] диаграммы характеризуют зависимость амплитуды суммарного поля падающей и рассеянной волны в функции угла падения волны  $\theta$  (при  $\varphi = 0$ ) и в функции азимутального угла  $\varphi$  (при  $\theta = 0$ ). Вследствие недостаточного применения вычислитель-