

07; 08

© 1992

УСИЛЕНИЕ МОНОХРОМАТИЧЕСКИХ АКУСТИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ В  $\text{CdS}$  И ФОКУСИРОВКА ЗВУКОВОГО ПОТОКА ПУЧКОМ СВЕТАВ.М. Рысаков, А.М. Дьяконов,  
Ю.А. Стоцкий.

Сразу же после обнаружения возможности усиления акустических сигналов в пьезополупроводниках за счет взаимодействия с потоком электронов, дрейфующих со сверхзвуковой скоростью [1], начались попытки создания на основе этого эффекта усилителя электрических сигналов. В таком устройстве входной электрический сигнал с помощью пьезопреобразователя преобразуется в акустический, который усиливается в пьезополупроводнике и затем с помощью второго преобразователя преобразуется в выходной электрический сигнал. Интерес к такому усилителю был обусловлен его предполагаемыми уникальными свойствами: рабочий диапазон от 0,1 ГГц до нескольких ГГц; полоса усиливаемых частот – октава; коэффициент усиления – десятки дБ/мм при полном динамическом диапазоне до 80 дБ и т.д. Исследованию этого процесса были посвящены сотни работ (см., например, обзоры [2–4]), иногда даже удавалось наблюдать усиление введенного монохроматического сигнала [5], однако реально действующий усилитель так и не был создан. Основная причина – аномально большое усиление шумов, которые обычно полностью забивают сигнал даже в том случае, если на входе соотношение сигнал/шум заметно больше единицы. В теоретических работах была предложена модель, объясняющая это одномерным параметрическим взаимодействием сигнала с шумом и перекачкой энергии сигнала в шум. В связи с тем, что такое взаимодействие устранить не удалось, интерес к продолжению работ в этой области в последние годы угас.

Однако анализ имеющихся экспериментальных фактов показал, что процесс преобразования шумов носит, по-видимому, другой характер, он существенно трехмерен и связан с поперечной некогерентностью шумового потока и возможностью „змейкового“ движения электронов в области средней нелинейности [6]. Эксперименты по исследованию усиления шумов в тонком канале, диаметр которого не больше радиуса когерентности шума, подтвердили это предположение [7, 8]. Это дало основание считать, что в таком канале возможно осуществить усиление сигнала без существенного ухудшения соотношения сигнал/шум.

В данной работе мы сообщаем об экспериментальном наблюдении устойчивого усиления слабого монохроматического сигнала

без подавления его шумом. Использовался фоточувствительный кристалл  $\text{CdS}$   $1.3 \times 1.5 \times 5$  мм. Исследования проводились на установке, описание которой приведено в [7]. Для ввода звука использовался пьезопреобразователь, помещенный между световодом и образцом. Преобразователь возбуждался импульсами высокочастотного генератора. В качестве одного из электродов преобразователя использовался тонкий проводящий слой образца вблизи торца, под вплавленным кольцевым катодным электродом. В качестве второго — тонкая фольга с отверстием в центре диаметром порядка 200 мкм. Через это отверстие посредством гибкого световода вводился узкий пучок света от точечной ртутной лампы, возбуждающий свободные электроны в образце. Диаметр пучка возрастает с 120 мкм вблизи катода до 250 мкм у анода. Средняя проводимость в канале  $6 \cdot 10^{-3} \text{ Ом}^{-1} \text{ см}^{-1}$ . К образцу прикладывались импульсы напряжения до 2,5 Кв, длительностью 2 мкс. Распространение введенного сигнала по образцу исследовалось с помощью дифракции зондирующего пучка света от маломощного He-Ne лазера.

В отсутствии тянущего поля и оптического возбуждения электронов в образце наблюдалось распространение по образцу введенного импульса с небольшим затуханием, причем его интенсивность в центре (в месте канала) была несколько меньше, чем вблизи верхней и нижней грани. Скорее всего это связано с относительно меньшей амплитудой колебаний в центре излучателя из-за отверстия в электроде.

Неожиданный результат получился при включении оптической подсветки в канале (без тянущего поля). Казалось бы, образовавшиеся в результате оптического возбуждения свободные электроны должны были привести к резкому увеличению затухания в канале и, соответственно, к уменьшению сигнала в нем при неизменном сигнале в затененных областях. Однако экспериментально наблюдался другой эффект: сигнал в первой половине канала (считая от пьезопреобразователя) возрастал в несколько раз, и лишь во второй половине начинал сильно затухать, при этом во всей затененной области сигнал резко уменьшался (рис. 1).

Можно предположить, что этот эффект связан с фокусировкой (канализацией) акустического потока пучком света. Как известно, свободные электроны в пьезополупроводнике приводят к уменьшению эффективной жесткости решетки и, соответственно, к уменьшению скорости звука. Таким образом, возбуждение электронов в центральном канале приводит к отставанию фазовых фронтов в канале относительно фронтов в затененной периферийной области образца (рис. 1). Соответственно, фазовые фронты в переходной области изгибаются так, что начинается подток энергии с периферийной области в канал, что не только компенсирует в начальной части канала возросшее затухание, но и приводит к возрастанию амплитуды. После того, как практически весь поток будет сконцентрирован в канале, начинает играть основную роль возрастание затухания за счет электронных потерь. Такой механизм идейно близок к механизму самофокусировки волновых пучков, хорошо изу-

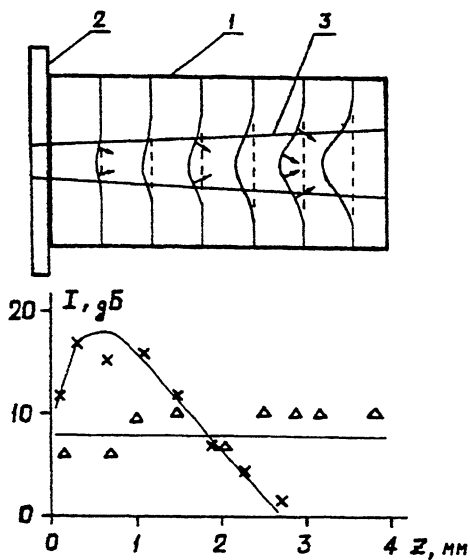


Рис. 1. Схематическое изображение процесса фокусировки звукового потока световым пучком и экспериментальные результаты по изучению распределения интенсивности в канале без светового пучка (треугольники) и со световым пучком (крестики). 1 – образец, 2 – излучатель звука, 3 – огибающая светового пучка. Пунктиром показаны фазовые поверхности звукового потока без светового пучка, сплошными линиями – со световым пучком, стрелки – направление подтока энергии.

ченному для мощных световых потоков. Возможность самофокусировки звуковых пучков также обсуждалась [9], хотя экспериментально наблюдался только процесс самодефокусировки [10]. Основное отличие обнаруженного нами эффекта состоит в том, что это не самовоздействие волнового потока, а перекрестное взаимодействие светового и звукового потока.

Далее исследовался процесс усиления введенного импульса при сверхкритическом тянущем поле. В этой серии экспериментов было выбрано положение канала в образце (вблизи центральной оси), в котором уровень шумов, генерируемых катодной областью, имел среднее значение. Исследовалась зависимость амплитуды сигнала от координаты. Некоторые результаты приведены на рис. 2.

Основные выводы из этой серии экспериментов сводятся к следующему. Входной импульс при распространении в канале не подавляется шумами, а усиливается с большим коэффициентом усиления (порядка 110–150 дБ/см), что по порядку величины близко к теоретическому значению. Динамический диапазон для слабого сигнала до уровня насыщения не менее 50 дБ. Генерации субгармоник и гармоник не обнаружено. Также не наблюдалось взаимодействия сигнала с шумом, соотношение сигнал/шум сохранялось примерно постоянным во всей области регистрации сигнала.

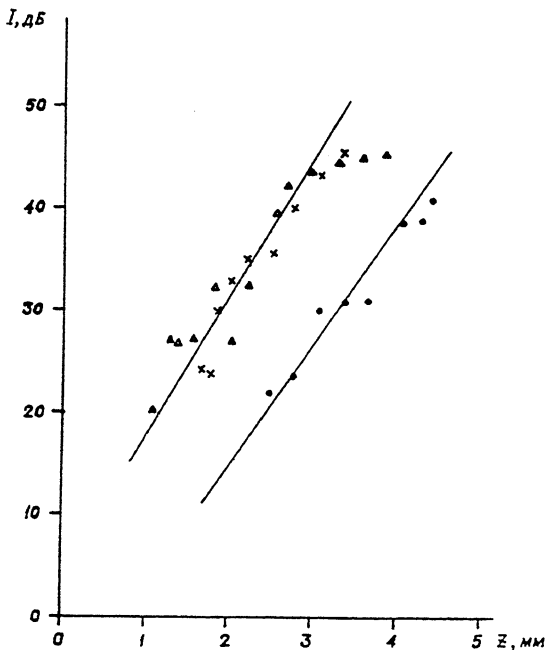


Рис. 2. Зависимость интенсивности звукового потока  $I$  в активном канале от продольной координаты  $z$  для входного сигнала очень малой интенсивности (кружки) и интенсивности, приблизительно на 15 дБ больше (треугольники и крестики). Частота введенного сигнала 210 МГц, тянущее поле 6 Кв/см, средняя проводимость в канале  $6 \cdot 10^{-3} \text{ Ом}^{-1} \text{ см}^{-1}$ .

Таким образом, показано, что размерность процесса принципиально влияет на электрон-фононное взаимодействие в полупроводнике и в случае тонкого активного канала наблюдается устойчивое усиление слабого сигнала. Экспериментально подтверждено, что развитые одномерные теории взаимодействия реально применимы только для описания процесса в активной области, диаметр которой, с одной стороны, достаточно мал (порядка радиуса когерентности), а с другой — достаточно велик в масштабе длины волны звука, что позволяет пренебречь волноводными эффектами. Именно с трехмерностью процесса связаны имеющиеся существенные различия результатов теории с экспериментальными данными для обычно применяемых объемных образцов, и именно этим объясняются неудачи при попытках создания усилителя, работающего за счет электроно-фононного взаимодействия.

#### С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] H a t s o n A.R., M c F e e I.H., W h i t e D.L. // Phys. Rev. Lett. 1961. V. 7, № 5. P. 237-239.

- [2] Meyer N.I., Jorgensen M.H. // *Ferstcorperprobleme*. 1970. V. 10. P. 21-124.
- [3] Кузману Н. // *PSS (a)*. 1974. V. 25 N 1. P. 9-68.
- [4] Рысаков В.М. // *УФН*. 1991. Т. 161. № 12. С. 1-38.
- [5] Дьяконов А.М., Илизавский Ю.В., Кулакова Л.А. // *ФТТ*. 1972. Т. 14 № 1. С. 95-103.
- [6] Рысаков В.М. // *ФТТ*. 1990. Т. 32. № 12. С. 3465-3469.
- [7] Аристов Ю.В., Рысаков В.М. // *Письма ЖТФ*. 1989. Т. 15. № 3. С. 47-50.
- [8] Рысаков В.М., Стоцкий Ю.А. // *Письма в ЖТФ*. 1991. Т. 17. № 20. С. 10-12.
- [9] Mathur S.S., Sago M.S. Тр. У1 Межд. симпозиума по нелинейной акустике, МГУ, 1976, 167 с.
- [10] Миргородский В.И., Проклов В.В. // *Письма ЖТФ*. 1977. Т. 3. № 20. С. 1063-1066.

Поступило в Редакцию  
29 июня 1992 г.