

ПИСЬМА В РЕДАКЦИЮ

УДК 534.222

© 1991 г.

Ко Сел Лен, И.Ю. Солодов

СВЕРТКА ВСТРЕЧНЫХ ПАВ НА КОНТАКТНОЙ АКУСТИЧЕСКОЙ НЕЛИНЕЙНОСТИ

Экспериментальному и теоретическому изучению акустоэлектронных устройств свертки с использованием различных механизмов нелинейности и типов акустических волн было посвящено значительное количество работ [1]. В результате исследований выяснилось, что наибольшая эффективность нелинейного взаимодействия встречных поверхностных акустических волн (ПАВ) наблюдается в условиях магнитоупругой [2] и концентрационной [3] нелинейностей, а практическая реализация устройств свертки к настоящему времени связывается с пьезоэлектрической нелинейностью [4]. В данной работе впервые исследуется возможность взаимодействия встречных ПАВ на нелинейности нового типа — контактной акустической нелинейности, связанной с колебаниями несклеенной границы раздела твердых тел, о проявлениях которой для объемных волн сообщалось ранее [5].

В эксперименте использовалась подложка из YZ-среза LiNbO_3 ($40 \times 20 \times 20$ мм), на поверхность которой наносились встречно-штыревые преобразователи с основной частотой 15 МГц. Возбуждение встречных ПАВ проводилось при подаче на преобразователи радиоимпульсов основной частоты длительностью ≈ 1 мкс и амплитудой до 20 В. Область их взаимодействия создавалась при прижатии к подложке стеклянного образца ($10 \times 15 \times 15$ мм), поверхность которого оптически полировалась (14-й класс) и тщательно очищалась для удаления промежуточных слоев на границе раздела. Возникающая при этом область оптического контакта (размером порядка нескольких мм) служила источником контактной акустической нелинейности.

Ее наличие должно обуславливать взаимодействие встречных ПАВ равных частот ω с образованием выходного сигнала свертки с параметрами $\omega_s = 2\omega$, $k_s = 0$, т.е. синфазных колебаний границы раздела с удвоенной частотой, приводящих, в свою очередь, к возникновению в подложке продольных акустических волн, распространяющихся нормально к ее границе. Для регистрации акустического сигнала свертки к нижней поверхности подложки приклеивался полуволновой преобразователь продольных волн (36° — Y-срез LiNbO_3) на основную частоту 30 МГц. Осциллограмма выходного сигнала этого преобразователя при временной синхронизации импульсов ПАВ, соответствующих их встрече в контактной области, приведена на рис. 1.

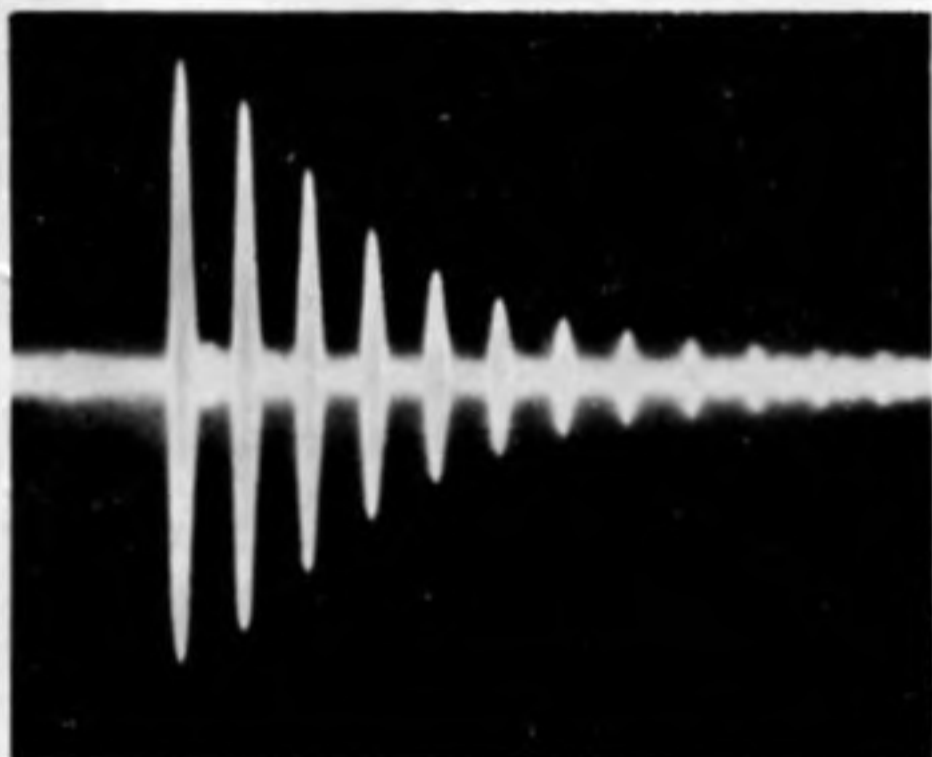


Рис. 1. Серия импульсов продольных волн, возникающих в подложке при взаимодействии встречных ПАВ на контактной нелинейности ($p = 7$ кг/см²)

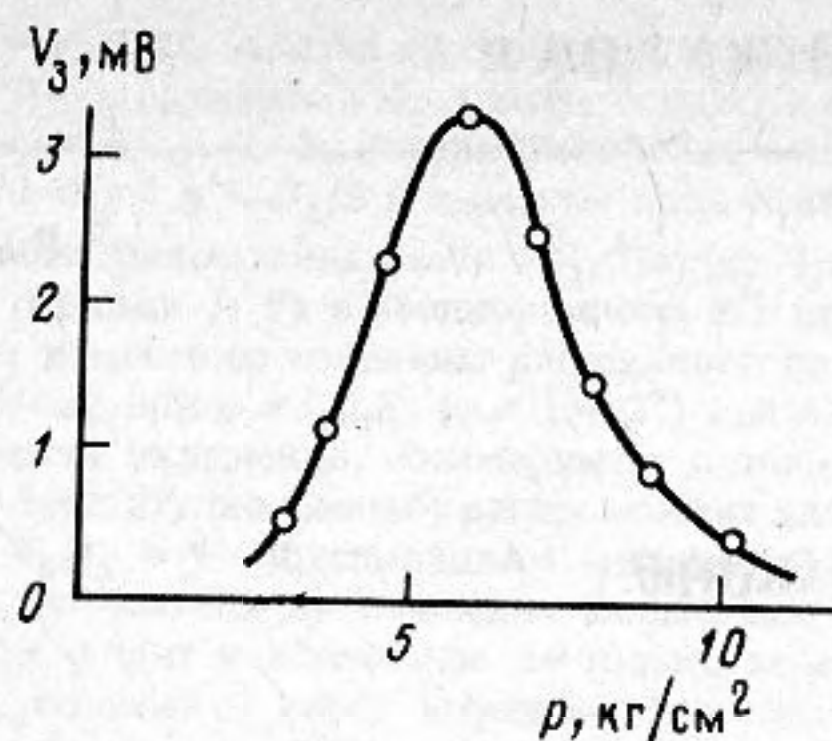


Рис. 2

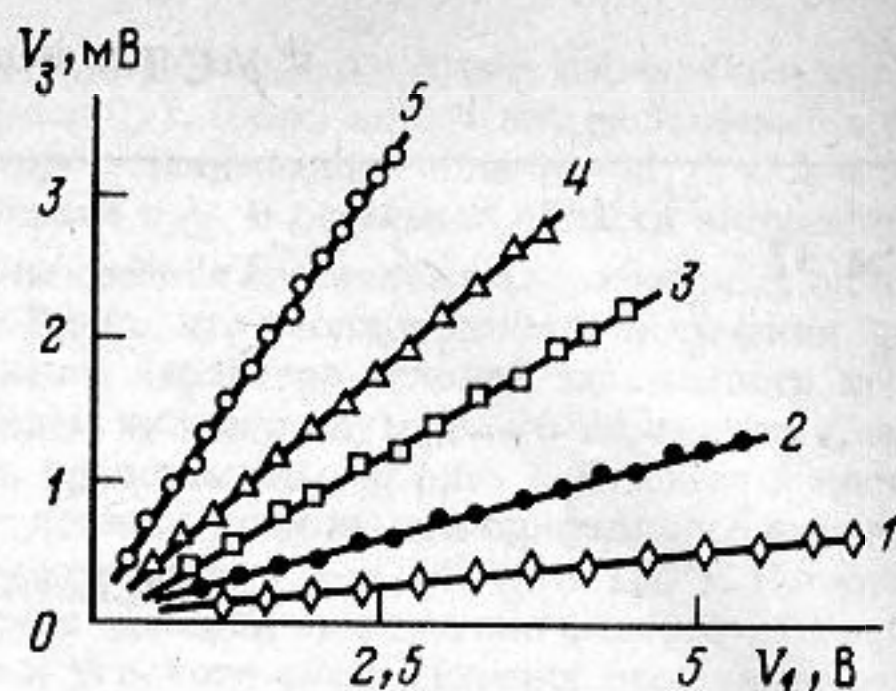


Рис. 3

Рис. 2. Зависимость амплитуды сигнала свертки от давления прижима образца к подложке

Рис. 3. Зависимость амплитуды сигнала свертки от напряжения на одном преобразователе ПАВ (V_1) при различных напряжениях на втором преобразователе, V_2 , В: 1 – 2, 2 – 4, 3 – 6, 4 – 8, 5 – 10

Видно, что нелинейное взаимодействие встречных ПАВ сопровождается эффективной генерацией объемных акустических волн в подложке: при оптимальном прижме образца удавалось регистрировать серии, содержащие более сотни импульсов. Временной интервал между импульсами серии хорошо соответствует задержке продольных акустических волн, распространяющихся вдоль оси Y LiNbO_3 с фазовой скоростью $v \approx 6,3 \cdot 10^3$ м/с. Оптимальная величина давления прижима соответствует поджтому контакту поверхностей ($p \approx 6$ кг/см²); при дальнейшем увеличении давления констант полностью закрывается и становится линейным (рис. 2). Динамические характеристики эффекта обнаруживают его билинейные свойства: по данным рис. 3 для акустических мощностей взаимодействующих ПАВ (P_1, P_2) и сигнала свертки (P_3) справедливо соотношение $P_3 = CP_1P_2$, а коэффициент билинейности устройства оказывается исключительно высоким $C = -56$ дБм. Для сравнения укажем, что согласно нашим измерениям величина аналогичного фактора для взаимодействия ПАВ на собственной (пьезоэлектрической) нелинейности подложки $YZ\text{-LiNbO}_3$ составила -102 дБм, а для лучших конвольверов с использованием нелинейности структур Si-LiNbO_3 , $C = -36$ дБм [3]. Таким образом, использование контактной нелинейности позволяет весьма простым способом повысить эффективность свертки ПАВ в $YZ\text{-LiNbO}_3$ на четыре-пять порядков. При обеспечении однородности контакта в области взаимодействия исследованный "чисто" акустический конвольвер может составить конкуренцию наиболее эффективным нелинейным ПАВ – устройствам на концентрационной нелинейности слоистых структур пьезоэлектрик – полупроводник.

В заключение отметим существенное отличие описанных закономерностей нелинейной генерации объемных волн от наблюдавшихся ранее для встречных ПАВ в структурах пьезоэлектрик – полупроводник [6]. В последнем случае источником объемных волн является нормальное к границе электрическое поле удвоенной частоты, возникающее за счет концентрационной нелинейности полупроводника. Для $YZ\text{-LiNbO}_3$ такое поле наиболее эффективно возбуждает сдвиговые волны с поляризацией вдоль оси Z [6]. В настоящем эксперименте уровень продольных волн оказался на 20 – 30 дБ выше амплитуды сдвиговых волн Z -поляризации. Такое различие указывает, что источник контактной нелинейности имеет иной характер, связанный в основном с ангармонизмом вертикальных упругих колебаний границы раздела твердых тел.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Нелинейные акустоэлектронные устройства и их применение / Под ред. Бондаренко В.С. М.: Радио и связь, 1985. 160 с.
2. Robbins W.P., Lundstrom M.S. Magnetoelastic Rayleigh wave convolver // Appl. Phys. Letts. 1975. V. 26. № 3. P. 73–74.
3. Кайно Г. Акустоэлектронные взаимодействия в устройствах на поверхностных волнах // ТИИЭР. 1976. Т. 64. № 5. С. 188–217.

4. Yao J. High performance elastic convolver with parabolic horns // Proc. IEEE Ultrason. Symp. 1980. P. 37-42.
5. Северин Ф.М., Солодов И.Ю. Экспериментальное наблюдение детектирования звука при отражении от границы раздела твердых тел // Акуст. журн. 1989. Т. 35. № 4. С. 764-765.
6. Боженко В.В., Лямов В.Е., Солодов И.Ю. Генерация объемных волн при нелинейном взаимодействии встречных поверхностных волн в структуре полупроводник-пьезоэлектрик // Журн. техн. физ. 1979. Т. 49. № 8. С. 1777-1779.

Московский государственный
университет им. М.В. Ломоносова

Поступило в редакцию
12.02.91