

**СУПЕРГЕТЕРОДИННОЕ УСИЛЕНИЕ
ПОВЕРХНОСТНЫХ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ ВОЛН
В МОНОЛИТНОЙ СЛОИСТОЙ СТРУКТУРЕ
ПЬЕЗОЭЛЕКТРИК – ПОЛУПРОВОДНИК**

А. М. Кмита, И. М. Котельянский, А. В. Медведев
В. Н. Федоренко

В работе приводятся некоторые результаты экспериментального исследования нелинейного взаимодействия ультразвуковых поверхностных волн двух различных частот в монокристаллической структуре ниобат лития – пленка CdSe при сверхзвуковом дрейфе электронов. Обнаружено, что коэффициент электронного усиления упругой поверхностной волны с частотой 28 МГц возрастает в присутствии интенсивной волны частотой 95 МГц при определенной проводимости пленки CdSe. При этом наблюдается генерация упругих поверхностных волн суммарной и разностной частот (123 и 67 МГц, соответственно).

Явление увеличения электронного усиления объемной ультразвуковой волны (УЗВ) частоты f_1 в присутствии интенсивной УЗВ частоты f_2 , имеющей больший инкремент нарастания, впервые экспериментально наблюдали авторы [1] в пьезополупроводниковом кристалле CdS.

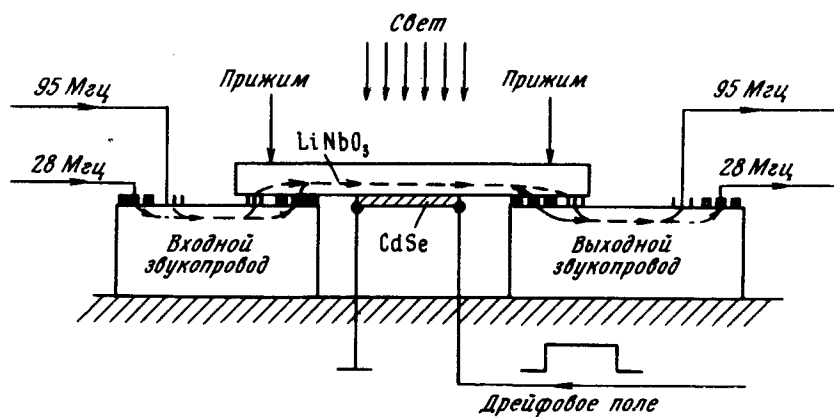


Рис. 1. Схема экспериментальной установки. Активная длина пленки CdSe равна 4 мм

Объяснение этому явлению было дано в теоретических работах [2, 3], где было показано, что возрастание электронного усиления УЗВ частоты f_1 связано с генерацией УЗВ комбинационных частот $f_1 + f_2$, $f_2 - f_1$ и "переносом" на УЗВ частоты f_1 большого коэффициента электронного усиления УЗВ комбинационных частот. Это явление получило название "распределенного супергетеродинного усиления звука" [2, 3].

В настоящей работе впервые, насколько нам известно, сообщается о наблюдении супергетеродинного усиления ультразвуковых *поверхностных* волн (УПВ). Это явление наблюдалось и исследовалось нами в монокристаллической слоистой структуре LiNbO_3 — пленка CdSe . Тонкая пленка CdSe наносилась непосредственно на YZ-LiNbO_3 звукопровод, как описано в [4]. Дрейфовая подвижность электронов в исследуемом нами образце равнялась $250 \text{ см}^2/\text{в} \cdot \text{сек}$. Выбор этой слоистой структуры был обусловлен высокой фоточувствительностью пленок CdSe , что позволило нам проводить исследования в достаточно широком диапазоне проводимостей.

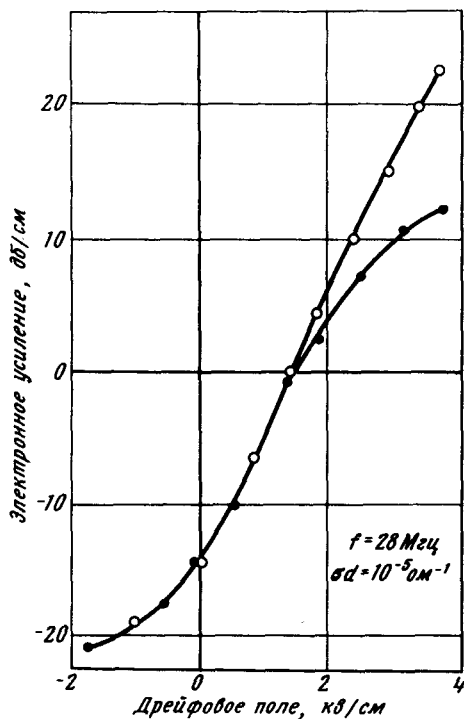


Рис. 2. Зависимость коэффициента электронного усиления на частоте УПВ 28 МГц от дрейфового поля: — ● — накачка отсутствует, — ○ — интенсивность УПВ 95 МГц (W_{95}) равна 2 мвт/см, $\sigma d = 10^{-5} \text{ ом}^{-1}$

Схема устройства, в котором проводились исследования, представлена на рис. 1. Устройство состоит из двух опорных звукопроводов (входного и выходного) из YZ-LiNbO_3 . На каждом звукопроводе имеется две пары электромеханических гребенчатых преобразователей с резонансными частотами $f_1 = 28 \text{ МГц}$ и $f_2 = 95 \text{ МГц}$. Преобразователи, расположенные на внешних краях входного и выходного звукопроводов, служат для генерации и приема УПВ, соответственно. Исследуемая же слоистая структура кладется на внутренние края опорных звукопроводов и прижимается к расположенным на этих краях преобразователям (см. рис. 1). Возбужденная во входном звукопроводе УПВ частично переходит в исследуемую структуру через систему металлических электродов соответствующего преобразователя [5] (см. рис. 1). Аналогичным образом УПВ из слоистой структуры переходит в выходной звукопровод. Вносимые потери такого "моста" (без учета электронного поглощения УПВ

в пленке CdSe) составляли 30 и 36 дб на частотах $f_1 = 28$ МГц и $f_2 = 95$ МГц соответственно. Преобразователи с резонансной частотой f_2 позволяли возбуждать и принимать УПВ также и на частотах $f_1 + f_2 = 123$ МГц и $f_2 - f_1 = 67$ МГц с вносимыми потерями "моста" 58 и 56 дб, соответственно. Ширина звукового луча на всех частотах равнялась ширине пленки CdSe и составляла 2 мм. Таким образом, примененная нами методика позволила избежать трудоемких процессов изготовления преобразователей на каждой исследуемой структуре.

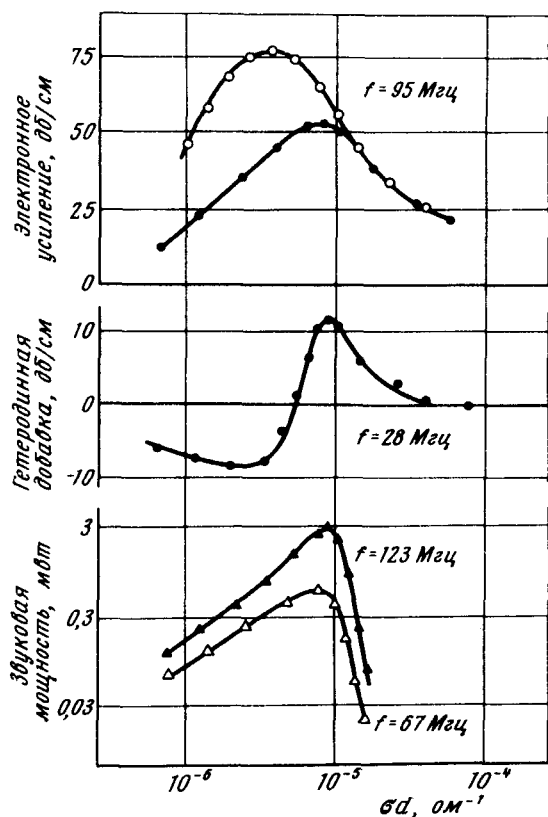


Рис. 3. Зависимости: а) коэффициента электронного усиления УПВ частоты 95 МГц (— \circ — $W_{95} = 1,5$ мвт/см, — \bullet — $W_{95} = 2$ мвт/см); б) гетеродинной добавки на частоте 28 МГц ($W_{95} = 2$ мвт/см); в) звуковой мощности суммарной и разностной частоты на выходе пленки CdSe ($W_{95} = 2$ мвт/см, $W_{28} = 0,3$ мвт/см) от величины σd при $E_{др} = 3,75$ кв/см

На рис. 2 представлена экспериментально полученная зависимость величины электронного усиления УПВ частоты 28 МГц от величины дрейфового поля. Видно, что при данной $\sigma d = 2,5 \cdot 10^{-6}$ см⁻¹ (d — толщина пленки CdSe, σ — ее проводимость) коэффициент усиления возрастет в присутствии интенсивной УПВ частоты 95 МГц при дрейфовом поле выше порогового. При этих условиях наблюдалась генерация сравнительно интенсивных УПВ суммарной (123 МГц) и разностной (67 МГц) частот, что находится в качественном согласии с теорией [2, 3]. Генерация суммарной и разностной частот при нелинейном акустоэлектронном взаимодействии УПВ большой и малой интенсивности в пассивной структуре ниобат лития — кремний наблюдалась авторами [6]. При малых значениях σd наблюдалось уменьшение коэффициента электронного усиления УПВ 28 МГц под действием интенсивной УПВ 95 МГц. Такой нели-

нейный эффект подавления дрейфового усиления слабого звукового сигнала сильной звуковой накачкой другой частоты в случае объемных волн был впервые теоретически рассмотрен в работе [7]. Экспериментальная зависимость величины приращения коэффициента электронного усиления (супергетеродинная добавка) УПВ 28 *МГц* от параметра σd при дрейфовом поле выше порогового показана на рис. 3. Как видно из рисунка эффект подавления усиления слабого сигнала сильной накачкой возрастает при уменьшении проводимости кристалла, что качественно согласуется с теорией [7]. На этом же рисунке представлены зависимости от σd коэффициента электронного усиления УПВ 95 *МГц* (α_{95}) (при двух различных интенсивностях волн) и мощностей УПВ суммарной и разностной частот. При малой интенсивности УПВ 95 *МГц* α_{95} максимально при $\sigma d = 1,25 \cdot 10^{-6} \text{ см}^{-1}$, что находится в хорошем согласии с теорией [8]. При увеличении интенсивности УПВ *МГц* максимум α_{95} уменьшается по величине и смещается в сторону высоких значений σd . Из рис. 3 видно, что супергетеродинная добавка положительна в той области σd , где наблюдается интенсивная генерация УПВ суммарной и разностной частот. При интенсивности УПВ частоты 95 *МГц* равной 2 *вт/см* все приведенные на рис. 3 зависимости достигают максимума при одном и том же значении σd .

Отметим, что акустическая мощность генерируемых УПВ суммарной и разностной частот превышает мощность входного акустического сигнала частоты 28 *МГц* на 17 и на 10 *дБ*, соответственно, т. е. имеет место частотное преобразование слабого входного УПВ сигнала с усилением.

Авторы выражают благодарность Ю.В.Гуляеву за полезную дискуссию и ценные замечания.

Институт радиотехники
и электроники
Академии наук СССР

Поступила в редакцию
30 июля 1974 г.

Литература

- [1] В. К. Комарь, Б. Л. Тиман. ФТТ, 12, №1, 1970.
- [2] Ю. В. Гуляев, П. Е. Зильберман. Письма в ЖЭТФ, 11, 421, 1970.
- [3] Ю. В. Гуляев, П. Е. Зильберман. ФТП, 5, 126, 1971.
- [4] И. М. Котелянский, А. В. Медведь. ФТП, 7, 1703, 1973.
- [5] Коллинз, Хаген. Электроника, 42, №25, 1970.
- [6] C. W. Lee, R. L. Gunshor, J. Appl. Phys., 44, 4807, 1973.
- [7] Yu. V. Guljaev, P. E. Zilberman. Phys. Lett., A30, 378, 1969.
- [8] K. A. Ingebrigtsen. J. Appl. Phys., 41, №2, 1970.