

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

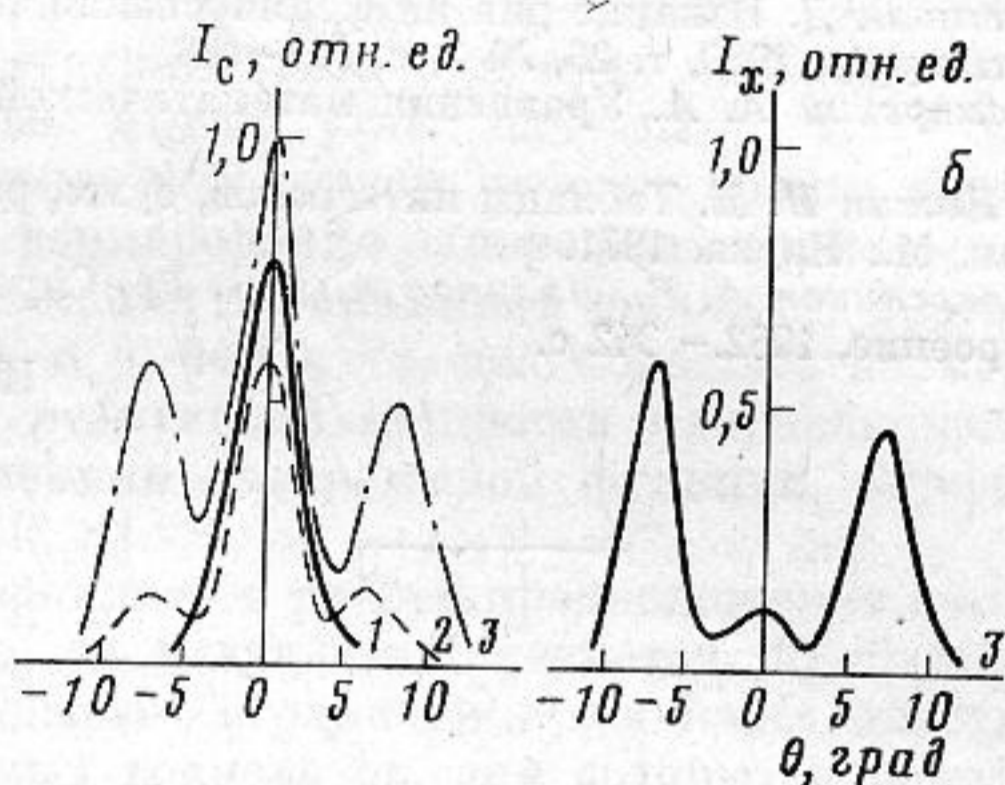
УДК 534.222:534.231.1

ПАРАМЕТРИЧЕСКОЕ УСИЛЕНИЕ ОГРАНИЧЕННЫХ ПУЧКОВ АКУСТИЧЕСКИХ ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОЛН

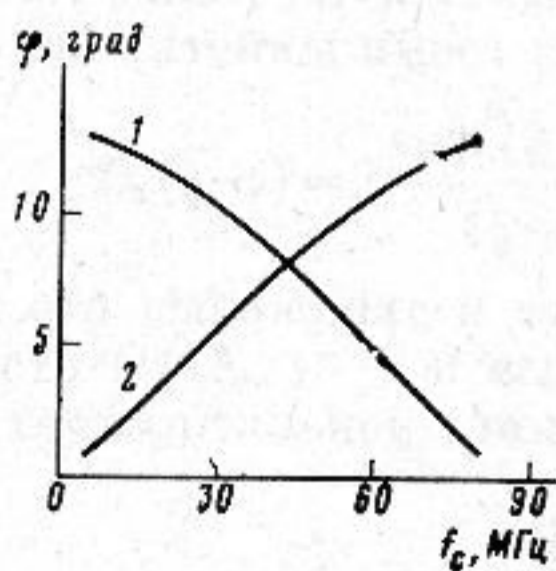
Балакирев М. К., Белостоцкий А. Л., Федюхин Л. А.

Известно, что в слоистой структуре пьезоэлектрик — полупроводник наблюдается параметрическое усиление акустических поверхностных волн [1]. В реальной ситуации взаимодействующие волновые пучки ограничены по апертуре и характеризуются угловыми распределениями спектральной интенсивности. Если эти распределения достаточно узкие, то можно говорить о взаимодействии трех плоских волн: сигнальной, холостой и накачки (ω_c , ω_x и ω_n — соответствующие частоты). При этом усиление сигнала сильно зависит от угла между волновыми векторами сигнальной волны (k_c) и волны накачки (k_n) так, что максимум усиления достигается при выполнении условий синхронизма $k_c + k_x = k_n$, $\omega_c + \omega_x = \omega_n$. Если угловые спектры пучков широки, то возникает вопрос об изменении углового спектра и интенсивности сигнального пучка в процессе его взаимодействия с пучком накачки.

В работе экспериментально исследована эволюция углового спектра сигнального пучка в поле мощной накачки в слоистой структуре $\text{LiNbO}_3 - \text{Ge}$. Геометрические оси пучков задавались ориентацией возбуждающих преобразователей и в экспери-

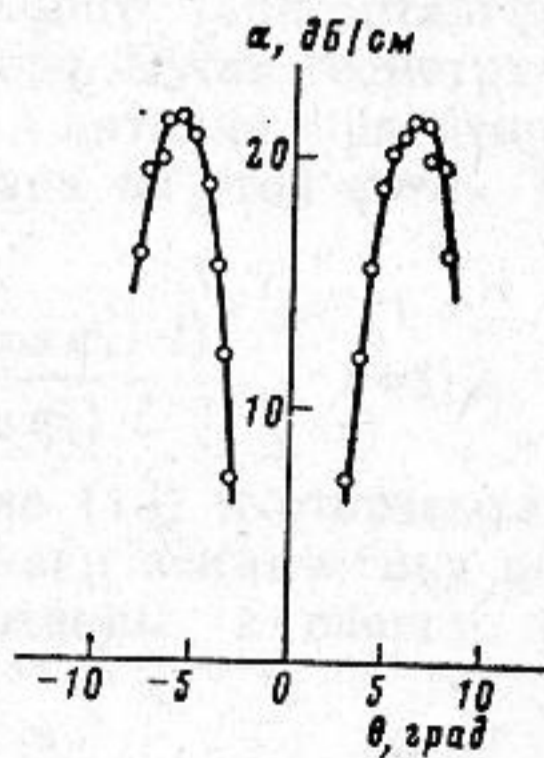


Фиг. 1. Угловые спектры сигнального — а и холостого — б пучков на различных расстояниях от входа x : 1 — 0; 2 — 1,2; 3 — 1,6 см



Фиг. 2

Фиг. 2. Зависимость угла синхронизма φ сигнальной и холостой волн от частоты сигнальной волны. Частота волны накачки $f_n = 87$ МГц. 1 — сигнальная волна, 2 — холостая волна



Фиг. 3

Фиг. 3. Диаграмма направленности параметрического инкремента

менте совпадали. Частота сигнала $f_c=39$ МГц, апертура — 1 мм. Параметры пучка накачки позволяли рассматривать его как плоскую волну (частота $f_n=87$ МГц, апертура — 4 мм). Угловые спектры были измерены акустооптическим методом. Разрешение по волновому числу k составляло ~ 30 см $^{-1}$, что соответствовало разрешению по углу $\sim 2^\circ$.

Результаты эксперимента представлены на фиг. 1, иллюстрирующей эволюцию углового спектра сигнального пучка с расстоянием. Видно, что первоначально однолепестковый угловой спектр трансформируется в ярко выраженный трехлепестковый. Угловой спектр холостого пучка также трехлепестковый. На фиг. 2 приведены результаты численного расчета углов синхронизма, выполненного в линейном приближении с учетом анизотропии звукопровода и наличия двух типов носителей заряда в полупроводнике. Видно, что угол между лепестками как сигнального, так и холостого пучков (фиг. 1) совпадает с расчетным значением угла синхронизма на соответствующих частотах.

Наблюдаемая картина эволюции углового спектра сигнального пучка может быть понята на основе общей модели трехволнового взаимодействия, описываемого системой укороченных уравнений [2]. В рамках этой модели для компонент углового спектра сигнального пучка, находящихся в синхронизме с волной накачки, усиление максимально и уменьшается с увеличением расстройки Δk по волновым векторам ($\Delta k=k_n-k_c-k_x$). При достаточно больших расстройках, обусловленных большими отклонениями от угла синхронизма, характер пространственного изменения интенсивности сигнала становится немонотонным, т. е. происходит периодический обмен энергией между волнами. В конечном итоге угловой спектр сигнального пучка должен эволюционировать к двухлепестковому на большом расстоянии. Представленный на фиг. 1 трехлепестковый спектр характеризует промежуточный этап его эволюции, когда компоненты углового спектра сигнального пучка, находящиеся в синхронизме с волной накачки, по интенсивности стали одного порядка с коллинеарными.

По угловым спектрам сигнального пучка можно найти зависимость параметрического инкремента плоских волн от угла между волновыми векторами k_n и k_c , т. е. определить диаграмму направленности параметрического инкремента. Для частоты $f_c=45$ МГц и интенсивности накачки 18 Вт/см она представлена на фиг. 3 и имеет вид двух лепестков, угол между которыми равен удвоенному углу синхронизма.

Обратим внимание на следующее обстоятельство. Изменение частоты сигнала приводит как к изменению ширины его углового спектра, так и к изменению диаграммы направленности параметрического инкремента (изменяется угол синхронизма). Если начальный угловой спектр сигнального пучка существенно шире лепестка диаграммы направленности параметрического инкремента, а сам лепесток лежит внутри углового спектра сигнального пучка, то изменение частоты сигнала не приводит к существенному изменению полного усиления в структуре до тех пор, пока лепесток диаграммы направленности параметрического инкремента не выйдет за пределы огибающей углового спектра сигнального пучка. В этом случае частотная зависимость полного усиления определяется главным образом начальной шириной углового спектра сигнального пучка и усиление может быть широкополосным. Такая особенность явления и обусловила широкую полосу частот усиления ($\sim 25\%$), наблюдавшуюся в работах [1, 3]. О широкой полосе частот параметрического усиления объемных акустических волн сообщалось также в работе [4].

ЛИТЕРАТУРА

1. Балакирев М. К., Богданов С. В., Федюхин Л. А. Параметрическое усиление поверхностных акустоэлектронных волн.— Письма в ЖТФ, 1981, т. 7, № 14, с. 845—847.
2. Ахманов С. А., Хохлов Р. В. Параметрические усилители и генераторы света.— УФН, 1966, т. 88, с. 439—460.
3. Балакирев М. К., Богданов С. В., Федюхин Л. А. Параметрическое взаимодействие акустических поверхностных волн в структуре $\text{LiNbO}_3\text{-Ge}$ в условиях фазового синхронизма.— В кн.: Мат. XI Всес. конф. по акустоэлектронике и квантовой акустике. Душанбе: Дониш, 1981, ч. I, с. 114.
4. Проклов В. В., Миргородский В. И., Пешин С. В., Хабибуллаев Б. К. Исследование распределенного параметрического взаимодействия ультразвуковых волн в CdS в режиме усиления.— В кн.: VI Междунар. симпоз. по нелинейной акустике. Тез. докл. М.: МГУ, 1975, с. 404—407.

Институт физики полупроводников
СО Академии наук СССР

Поступила в редакцию
15.VI.1983