

- [5] Адирович Э. П., Карагеоргий-Алкалаев П. М., Лейдерман А. Ю. Токи двойной инжекции в полупроводниках. М.: Сов. радио. 1978. Гл. 2.  
 [6] Dannelun H., Lundström I., Petersson L.-G. // Surf. Sci. 1988. Vol. 193. P. 109—131.

Физико-технический институт  
 им. А. Ф. Иоффе АН СССР  
 Санкт-Петербург

Поступило в Редакцию  
 16 августа 1990 г.

08; 09

Журнал технической физики, т. 61, в. 9, 1991

© 1991 г.

## АВТОМОДУЛЯЦИЯ ПАРАМЕТРИЧЕСКИ ВОЗБУЖДЕННЫХ ВОЛН В АКУСТИЧЕСКИ АНИЗОТРОПНЫХ СРЕДАХ

С. Г. Долинчук, В. И. Задорожный, А. М. Федорченко

Нелинейное взаимодействие акустических волн находит широкое применение в устройствах обработки информации, для усиления слабых акустических сигналов [1, 2], генерации акустических волн СВЧ диапазона [3]. В [1, 3] реализован невырожденный параметрический генератор на монокристалле парателлуриата ( $\text{TeO}_2$ ), использующий синхронное взаимодействие между продольными и встречными поперечными упругими волнами. При превышении в несколько раз порогового значения мощности накачки параметрическая генерация в таком генераторе сменяется периодической автомодуляцией, которая при дальнейшем повышении мощности накачки становится шумоподобной. Причина возникновения автоколебаний в указанном параметрическом генераторе остается невыясненной.

С точки зрения приложений важной задачей является изучение возникающих неустойчивостей, чтобы либо избежать их нежелательного влияния на работу устройства, либо соответствующим образом использовать. С другой стороны, изучение подобных автоколебаний, имеющих тенденцию к хаотизации движения при увеличении управляющего параметра (интенсивности накачки), представляет интерес с чисто физической точки зрения в связи с изучением различных проявлений детерминированного хаоса [4, 5].

В настоящей работе показано, что при нелинейном взаимодействии продольных и поперечных акустических волн в диэлектрических тетрагональных кристаллах при наличии обратной связи по параметрически возбужденной попутной поперечной волне может наблюдаться неустойчивость, аналогичная неустойчивости Икеды [5].

Указанная обратная связь может быть реализована, например, с помощью торцевых пьезопреобразователей со специально подобранной полосой пропускания [6] и электрической цепи, передающей сигнал с выхода на вход кристалла, при этом легко реализуется сдвиг фазы сигнала. Для уменьшения уровня ложных сигналов вследствие отражения от торцов звукопровода, а также улучшения возможностей регистрации комбинационной волны на выходе генератора может быть использована схема неколлинеарного взаимодействия упругих волн [7]. Явление неустойчивости изучено на примере широко использующихся кристаллов парателлуриата, в которых в направлении [110] реализуется практически чистое трехволновое взаимодействие (возбуждением высших гармоник накачки можно пренебречь [3]).

Динамические свойства акустического параметрического генератора с обратной связью описываются системой связанных уравнений для медленно изменяющихся амплитуд, которая в безразмерной форме имеет вид

$$\frac{\partial a_{1,2}}{\partial \tau} \pm v \frac{\partial a_{1,2}}{\partial \xi} = \lambda a_{3,1}^* a_{2,1} - \alpha_{1,2} a_{1,2},$$

$$\frac{\partial a_3}{\partial \tau} + \frac{\partial a_3}{\partial \xi} = -a_1 a_2 - \alpha_3 a_3 \quad (1)$$

с граничными условиями

$$a_1(0, \tau) = R a_1(1, \tau), \quad a_2(1, \tau) = 0, \quad a_3(0, \tau) = 1, \quad (2)$$

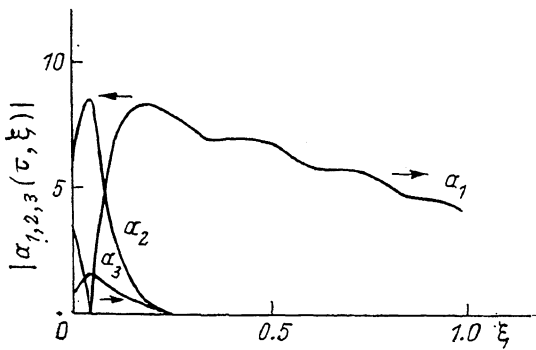
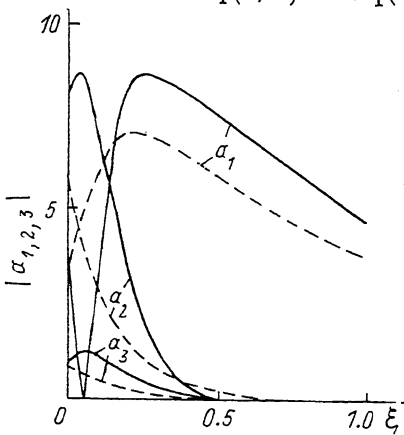


Рис. 1. Пространственное распределение амплитуд звуковых волн в стационарном режиме генерации при  $\lambda=5.7$ ,  $R=-1$  (сплошные линии) и  $R=1$  (штриховые линии).

Рис. 2. Пространственное распределение амплитуд звуковых волн в режиме автомодуляции при  $\lambda=6.0$ ,  $R=-1$ ,  $\tau=240$ .

Стрелками показано направление распространения волн в кристалле.

где

$$a_{1,2} = \frac{A_{1,2}}{A_0} \sqrt{\lambda \omega_{1,2} / \omega_3}, \quad a_3 = A_3 / A_0, \quad \tau = v_L t / L,$$

$\xi = x/L$ ,  $\lambda = (1/4) A_0 L \Gamma \omega_3 \sqrt{\omega_1 \omega_2} / (v_T v_L)^2$ ,  $A_0$  — амплитуда волны накачки на входе,  $L$  — длина кристалла,  $\omega$  — частоты взаимодействующих волн,  $\Gamma = [4c_{66} + 2(c_{11} + c_{12}) + C_{111} - C_{112}] / 4\rho$  и  $c_{jk}$ ,  $C_{ijk}$  — модули упругости второго и третьего порядков,  $\rho$  — плотность кристалла,  $v = v_T / v_L$ ,  $v_T$  и  $v_L$  — скорости поперечной и продольной волн,  $\alpha_i$  — коэффициенты затухания,  $R$  — коэффициент отражения сигнальной волны.

Система уравнений (1), (2) решалась численно на ЭВМ при значениях параметров, соответствующих кристаллу парателлурита [1, 3, 8],  $v=0.146$ ,  $\alpha_1=9.83 \cdot 10^{-2}$ ,  $\alpha_2=5.45 \times 10^{-2}$ ,  $\alpha_3=7.05 \cdot 10^{-2}$ .

При  $R \geq 0$  и превышении некоторого порогового значения мощности накачки в системе наблюдалась стационарная параметрическая генерация. Соответствующее этому случаю стационарное распределение амплитуд волн по длине кристалла показано на рис. 1 (штриховые линии). При  $R < 0$  также наблюдалась стационарная параметрическая

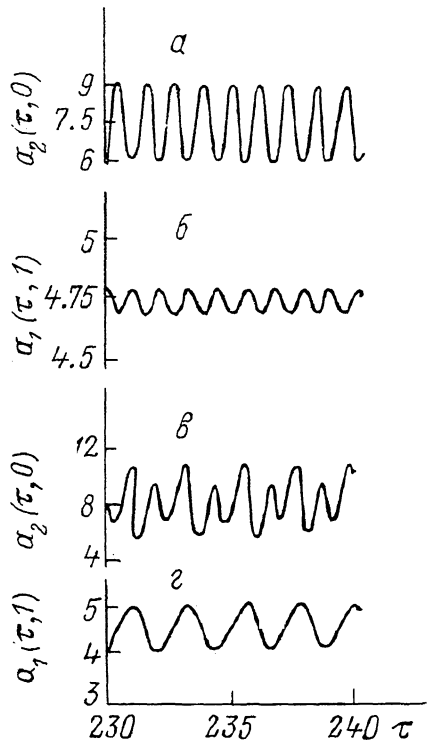


Рис. 3. Зависимость амплитуд поперечных звуковых волн от времени на торцах кристалла в режиме автомодуляции при  $R=-1$ ,  $\lambda=5.8$  (а, б),  $\lambda=6.0$  (в, з).

генерация (сплошные линии на рис. 1), которая при увеличении параметра  $\lambda$  при фиксированном значении  $R < 0$  становилась неустойчивой, и система

переходила в режим автоколебаний (рис. 2, 3). Глубина наблюдавшейся автомодуляции зависела от  $\lambda$  и  $R$  и при  $\lambda=6.0$ ,  $R=-1$  составляла около 38 % по холостой волне и 11 % по сигнальной волне и возрастала при увеличении параметра  $\lambda$ .

Пороговое значение  $\lambda_{\text{пор}}$  возникновения автоколебаний при  $R=-1$  составляет величину около 5.8. Период колебаний вблизи  $\lambda_{\text{пор}}$  равен времени прохода через кристалл волны накачки (рис. 3, а, б). При увеличении  $\lambda$  наблюдались бифуркации удвоения периода. На рис. 3, в, г приведена форма автоколебаний на торцах кристалла с периодом, равным времени двух проходов волны накачки через кристалл. Проведенный нами анализ развития неустойчивости позволяет предположить, что в данной системе реализуется неустойчивость Икеды [5].

При больших значениях параметра  $\lambda$  ( $\lambda \geq 6.4$ ) в системе наблюдаются также колебания с периодом  $T_p = n/v$ , кратным времени прохода через кристалл поперечных звуковых волн. Ввиду несоизмеримости времен прохода через кристалл поперечных и продольных звуковых волн автомодуляция становится квазипериодической.

Рассмотренный эффект может служить причиной автомодуляции, экспериментально наблюдавшейся в кристаллах парателлурита в [1, 3].

### Список литературы

- [1] Ильченко Л. Н., Обозненко Ю. Л. // Письма в ЖТФ. 1979. Т. 5. Вып. 23. С. 1425—1427.
- [2] Дьелсан Э., Руайе Д. Упругие волны в твердых телах. Применение для обработки сигналов / Под ред. В. В. Леманова. М.: Наука, 1982. 424 с.
- [3] Ильченко Л. Н., Обозненко Ю. Л. // ФТТ. 1979. Т. 21. Вып. 6. С. 1648—1652.
- [4] Шустер Г. Детерминированный хаос / Под ред. А. В. Гапонова-Грехова, М. И. Рабиновича. М.: Мир, 1988. 240 с.
- [5] Гиббс Х. Оптическая бистабильность. Управление светом с помощью света / Под ред. Ф. В. Карпушко. М.: Мир, 1988. 520 с.
- [6] Морозов А. И., Проклов В. В., Станковский Б. А. Пьезоэлектрические преобразователи для радиоэлектронных устройств. М.: Радио и связь, 1981. 184 с.
- [7] Ильченко Л. Н., Москалев В. М., Обозненко Ю. Л., Смирнов Е. Н. // Акуст. журн. 1987. Т. 33. № 6. С. 1057—1059.
- [8] Акустические кристаллы. Справочник / Под ред. М. П. Шаскольской. М.: Наука, 1982. 632 с.

Киевский государственный университет  
им. Т. Г. Шевченко

Поступило в Редакцию  
30 июля 1990 г.

01; 09; 12

Журнал технической физики, т. 61, в. 9, 1991

© 1991 г.

## ВЕДУЩАЯ ЛОГАРИФМИЧЕСКАЯ ПОПРАВКА К ЕМКОСТИ ЦИЛИНДРИЧЕСКОГО КОНДЕНСАТОРА

В. А. Шелото

В работе [1] на основании метода средних потенциалов (метода Хоу [2]) найдена функциональная зависимость емкости кольцевого конденсатора от его геометрических параметров. Было показано, что метод Хоу правильно воспроизводит логарифмическую поправку к емкости, если расстояние между пластинами конденсатора меньше их характерного размера. Ниже этот метод используется при исследовании краевых эффектов в цилиндрическом конденсаторе конечной длины. Из геометрических соображений ясно, что влияние краевых эффектов относительно мало, когда расстояние между электродами  $d \equiv a - b$  много меньше поперечных размеров конденсатора ( $d \ll a$ ,  $a$  и  $b$  — радиусы внешнего и внутреннего электродов соответственно) либо когда длина конденсатора  $H$