

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

08

Журнал технической физики, т. 61, в. 6, 1991

© 1991 г.

АНОМАЛЬНЫЕ СВОЙСТВА
ПОВЕРХНОСТНЫХ АКУСТИЧЕСКИХ ВОЛН
В СТРУКТУРЕ ПЛЕНКА—ПОДЛОЖКА

И. Я. Ашбель, М. Ю. Двоеширстов, С. Г. Петров

Вычисление скорости ПАВ в слоистых структурах обычно проводится с помощью численных методов на ЭВМ и реализуется на основе алгоритма типа «задача анализа» для конкретных материалов [1]. До настоящего времени неизвестны оптимизационные алгоритмы, позволяющие путем целенаправленного расчета заранее определить возможные оптимальные пары материалов и толщину пленки, при которых достигаются необходимые свойства структуры.

Вследствие этого при выборе пар материалов пленки и подложки для целей, например, повышения термостабильности или коррекции частотных свойств устройств на ПАВ обычно базируются на предположении, что в слоистых структурах относительное изменение скорости ПАВ, обусловленное тонким слоем, имеет знак, который зависит преимущественно от отношения сдвиговой скорости в материале слоя v_2 к скорости невозмущенной рэлеевской волны в подложке v_1 . При этом подразумевается, что с увеличением параметра $h \cdot k$ (h — толщина слоя, k — волновое число акустической волны) фазовая скорость ПАВ плавно изменяется от значения скорости рэлеевской волны на свободной поверхности подложки до значения скорости рэлеевской волны на свободной поверхности материала слоя v_2 . Температурный коэффициент скорости ПАВ TKv в слоистой структуре с ростом $h \cdot k$ также плавно изменяется от значения температурного коэффициента скорости в подложке TKv_1 до значения температурного коэффициента скорости в пленке TKv_2 . Поток энергии ПАВ с ростом $h \cdot k$ перекачивается постепенно из материала подложки в материал пленки.

Однако в некоторых случаях, когда скорости ПАВ в материалах пленки и подложки примерно одинаковы $v_1 \approx v_2$, зависимости скорости ПАВ в слоистой структуре $v_{1,2}$ от параметра $h \cdot k$ содержат локальные экстремумы [2]. При этом для некоторых пар материалов пленки и подложки скорость $v_{1,2}$ оказывается меньше как скорости ПАВ в материале подложки v_1 , так и в материале пленки v_2 .

Для анализа этой особенности, а также для определения областей параметров материалов пленки и подложки, при которых наблюдается аномальная зависимость скорости $v_{1,2}$ от параметра $h \cdot k$, в работе по методу Фарнела—Джонса [3] проведен численный расчет на ЭВМ основных характеристик ПАВ в слоистых структурах (скорость, продольные и поперечные компоненты смещения, плотности потоков энергии в пленке и подложке, температурные коэффициенты скорости ПАВ). Расчеты проводились в предположении изотропности подложки и пленки. Не уменьшая общности результатов, полученных в работе, это значительно сократило объем вычислений на ЭВМ.

С целью получения результатов общего характера задача решалась для произвольных материалов, поскольку определитель граничных условий [1] может быть выражен через 4 безразмерных параметра $\rho = \rho_2/\rho_1$, $\mu = \mu_2/\mu_1$, $\lambda = \lambda_2/\lambda_1$, $R = \lambda_1/\mu_1$ ($\rho_1, \rho_2, \mu_1, \mu_2, \lambda_1, \lambda_2$ — плотности и упругие контакты Ламэ материалов подложки и пленки соответственно). Приравняв определитель граничных условий к нулю, можно получить скорость ПАВ.

Численный анализ на ЭВМ показал, что зависимость скорости ПАВ $v_{1,2}$ от параметра $h \cdot k$ в основном определяется двумя безразмерными параметрами ρ и μ и практически не зависит от отношений λ и R .

В результате анализа зависимости скорости ПАВ $v_{1,2}$ от $h \cdot k$ при различных соотношениях ρ и μ были найдены области параметров, при которых наблюдается обычная «клас-

сическая» зависимость $v(h \cdot k)$ (рис. 1, кривые 1, 2), а также аномальная зависимость $v(h \cdot k)$ (рис. 1, кривые 3, 4). На рис. 1 скорость ПАВ в слоистой системе $v_{1,2}$ нормирована на сдвиговую скорость в подложке v_{i_1} : $v = v_{1,2}/v_{i_1}$, где $v_{i_1} = \sqrt{\mu_1/\rho_1}$. Было получено, что, когда параметры $\rho > \sim 3$ и $\mu > \sim 3$ одновременно, зависимость скорости квазирэлеевской ПАВ в двухслойной системе от параметра $h \cdot k$ имеет локальный минимум. Кроме того, найдено, что положение минимума функции $v(h \cdot k)$ (рис. 1) слабо зависит от параметров ρ и μ и соответствует $h \cdot k \sim 1$ для случая, когда $v_2 < v_1$, и $h \cdot k \sim 0.5$ для случая, когда $v_2 > v_1$. Интервал значений $h \cdot k$, при которых наблюдается локальный минимум, тем больше, чем больше значения параметров ρ и μ по величине.

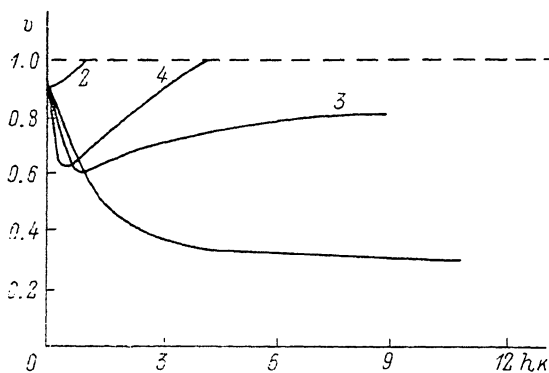


Рис. 1. Зависимость v от $h \cdot k$ при $\lambda=1$, $R=1$.
 ρ : 1 — 5, 2 — 2, 3 — 6, 4 — 7, μ : 1 — 0.5; 2, 4 — 10, 3 — 4.

В предельном случае, когда $\rho \gg 1$ и $\mu \gg 1$, зависимость $v(h \cdot k)$ имеет ярко выраженный локальный минимум, который может быть объяснен возникновением изгибной волны типа волны Лэмба, имеющей наименьшую скорость из всех поверхностных волн и распространяющейся в пластине с одной закрепленной границей.

При анализе температурных свойств ПАВ в слоистой структуре в программу расчета скорости ПАВ вводилась зависимость констант упругости и плотности материалов от температуры T . При этом рассчитывался температурный коэффициент скорости ПАВ TKv . Показано, что при некоторых параметрах $T\rho$, $T\mu$ ($T\rho = T\rho_1/T\rho_2$, $T\mu = T\mu_1/T\mu_2$, где $T\rho_1$, $T\rho_2$, $T\mu_1$, $T\mu_2$ — температурные константы плотности и упругости материалов подложки и пленки соответственно) также наблюдается локальный минимум на зависимости $TKv(h \cdot k)$.

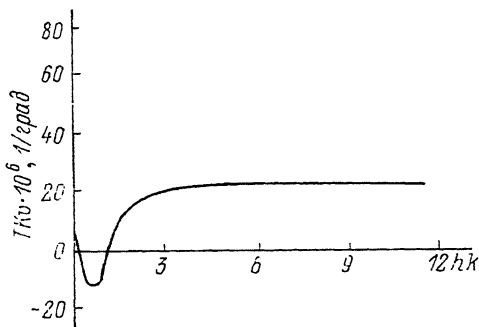


Рис. 2. Зависимость TKv от $h \cdot k$.

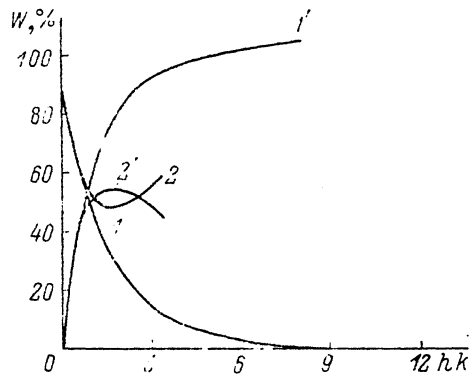


Рис. 3. Зависимость полного потока энергии ПАВ W от $h \cdot k$.

1, 1' — доли полного потока энергии ПАВ в подложке и пленке соответственно для $v_2 < v_1$, $\rho=1.7$, $\mu=1.5$;
 2, 2' — доли полного потока энергии ПАВ в подложке и пленке соответственно для $v_2 > v_1$, $\rho=0.5$, $\mu=0.7$.

Как видно из приведенного рис. 2, TKv для выбранной структуры ($\rho=10$, $\mu=9$, $T\rho = T\mu=10$, $TKv_1=10 \cdot 10^{-6}$ 1/град, $TKv_2=32 \cdot 10^{-6}$ 1/град) становится отрицательным в области $h \cdot k = 0.15-0.7$.

Полный поток энергии, переносимой ПАВ параллельно поверхности, рассчитанный на единицу ширины, определялся аналогично [3]. В случае, когда пленка «смягчает» подложку ($v_2 < v_1$), квазирэлеевская волна существует при любых $h \cdot k$, при увеличении толщины пленки поток энергии ПАВ постепенно перемещается из подложки в пленку (рис. 3, кривые 1, 1'). В случае, когда пленка «ужесточает» подложку ($v_2 > v_1$), квазирэлеевская волна существует лишь до определенных значений $h \cdot k$ ($h \cdot k \sim 3$), а при больших $h \cdot k$ решение системы существует лишь для волн объемного типа. При этом на зависимости полного

потока энергии от $h \cdot k$ возникает локальный экстремум (рис. 3, кривые 2, 2'). При увеличении параметра $h \cdot k$ поток энергии в пленке W_2 сначала увеличивается от 0 до 50 %, а затем, начиная с $h \cdot k \sim 2$, уменьшается («выталкивание» волны в подложку) с одновременным увеличением потока энергии в подложке W_1 вплоть до $h \cdot k \sim 3$, при которых еще может существовать квазирэлеевская волна. Особенности в зависимостях $v(h \cdot k)$, $TKv(h \cdot k)$, $W_2 \times \times (h \cdot k)$ при соответствующем выборе пар материалов пленки и подложки могут быть использованы в практических целях, например для коррекции частотных или температурных характеристик на ПАВ.

Список литературы

- [1] Филитры на поверхностных акустических волнах / Под ред. Г. Метьюза. М.: Радио и связь. 1981. 469 г.
- [2] Furukawa S., Morizumi T. // J. Acoust. Soc. Jap. 1980. Vol. 36. N 7. S. 350—354.
- [3] Физическая акустика / Под ред. У. Мезона, Р. М. Терстона. Т. VI. М.: Мир, 1973. 431 с.

Горьковский
государственный университет
им. Н. И. Лобачевского

Поступило в Редакцию
21 сентября 1989 г.
В окончательной редакции
9 апреля 1990 г.

08

Журнал технической физики, т. 61, в. 6, 1992

© 1991 г.

ОСОБЕННОСТИ БИСТАБИЛЬНОСТИ АКУСТОЭЛЕКТРОННЫХ ЯВЛЕНИЙ В СЛОИСТЫХ СТРУКТУРАХ ПЬЕЗОСЛОЙ—ПОЛУПРОВОДНИК

В. А. Вьюн, И. Б. Яковкин

Нелинейные волновые процессы и физические эффекты, возникающие при взаимодействии поверхностных акустических волн (ПАВ) и волн плотности заряда в слоистых структурах пьезоэлектрик—полупроводник, используются в устройствах обработки сигнальной информации, в неразрушающих методах исследования, в моделировании волновых явлений [1-3]. Структуры пьезопленка (ZnO)—полупроводник (Si) обладают сильной нелинейностью, которая к тому же перестраивается приложенным к полевому электроду напряжением смещения [4].

Недавно в таких структурах были обнаружены би- и мультистабильные акустоэлектронные (АЭ) явления. В [5, 6] сообщалось о бистабильности в АЭ системе с внешней обратной связью, образующей пассивный кольцевой резонатор. В [7] показана бистабильность в гибридной АЭ системе с внешней обратной связью, охватывающей выходной преобразователь и полевой электрод. В [8, 8-11] приведены результаты исследования би- и мультистабильности в безрезонаторной АЭ системе (без внешних обратных связей) в режиме периодического следования импульсов ПАВ. Внешнее проявление результата взаимодействия заключается в том, что при некоторых амплитудах входных сигналов амплитуды прошедшего сигнала ПАВ и поперечного акустоэлектрического эффекта (ПАЭ) принимают несколько стабильных значений. Механизм возникновения би- и мультистабильности в безрезонаторной АЭ системе без внешних обратных связей неясен в отличие от такового в случае пассивной кольцевой резонаторной и гибридной систем. В последних явление связано с определенными свойствами нелинейного затухания и дисперсии ПАВ или влияния напряжения смещения на распространение ПАВ. В связи с этим исследование новых свойств би- и мультистабильности АЭ явлений в безрезонаторных системах актуально. Ранее отмечалось, что мультистабильность осуществляется только в импульсно-периодическом режиме следования ПАВ. Выяснение роли режима распространения ПАВ позволит установить возможность существования бистабильности в непрерывном режиме. Такой режим является более простым по сравнению с импульсным, в котором существенное значение имеют переходные процессы. Этим вопросам и посвящена настоящая работа. В ней исследована также роль режима бегу-