

УДК 534.222.2

ГЕНЕРАЦИЯ ВТОРОЙ АКУСТИЧЕСКОЙ ГАРМОНИКИ НА ГРАНИЦЕ СЕГНЕТОЭЛАСТИЧЕСКИХ ДОМЕНОВ

Г. П. Морозова, О. Ю. Сердобольская

(кафедра акустики)

Рассматривается задача генерации второй акустической гармоники в полидоменном сегнетоэластике. Показано, что нелинейность полидоменного кристалла связана только с наличием собственной нелинейности доменной границы и увеличивается пропорционально числу доменных стенок. Экспериментальные результаты для полидоменного молибдата гадолиния показывают преимущественный рост с увеличением числа доменных границ второй акустической гармоники с поляризацией, соответствующей спонтанной деформации.

Явление отражения и преломления звука на доменных границах сегнетоэлектрических доменов в последнее время используется в акустоэлектронных устройствах [1—4]. Возможность создания периодических доменных структур и управления их характеристиками с помощью электрического поля открывает новые перспективы для разработки управляемых линий задержки, волноводов и преобразователей звука. Для создания нелинейных акустодоменных устройств на основе управляемых доменных структур необходимо оценить дополнительную по сравнению с решеточной акустическую нелинейность, связанную с движением доменных стенок под действием звуковой волны.

Настоящая работа посвящена исследованию акустодоменной упругой нелинейности в сегнетоэлектрике-сегнетоэластике молибдате гадолиния, в котором состояние доменной структуры может быть изменено как электрическим полем, так и упругим напряжением. Акустическая нелинейность определялась по генерации второй гармоники для волн различных поляризаций.

Рассмотрим случай, когда деформация акустической волны соответствует спонтанной деформации сегнетоэластика. Ограничимся одномерным случаем, когда волна распространяется вдоль оси X , а доменная граница, совпадающая с плоскостью YOZ , находится в точке X_0 . Решая совместно волновое уравнение в кристалле и уравнение колебаний доменной границы с некоторыми эффективными значениями массы, диссипации и упругости, во втором приближении можно получить выражение для амплитуды деформации второй акустической гармоники в среде с одной доменной границей. Для частоты звука выше десятков мегагерц доменную границу можно рассматривать как чистую сосредоточенную упругость, так как ее резонансные частоты находятся в килогерцевом диапазоне. Решение для амплитуды деформации второй акустической гармоники, приведенное в [1], включает обычную нелинейную волну и волну, возникающую на доменной границе, в виде

$$u_{2\omega} = (k_0^2/2k_2) C^* (\Delta u)^2 u_0^2 e^{i\varphi}. \quad (1)$$

Здесь Δu — скачок спонтанной деформации u^s на доменной границе: $\Delta u = u_1^s - u_2^s$ (эта деформация является сдвиговой), φ — постоянная фаза, k_0 — волновое число в монодоменном кристалле, $2k_2$ — волновое число для второй акустической гармоники, которое находится из уравнения

$$k_0^2 [1 + 2ik_2 (\Delta u)^2 (C/C_1)] = k_2^2. \quad (2)$$

Величина $C^* = (C'/C_1) - (C_2 C^2/C_1^3)$ определяет эффективность генерации второй гармоники. Здесь C и C' — соответственно линейный и нелинейный упругие модули среды для поперечной волны, соответствующей спонтанной деформации, C_1 и C_2 — линейная и нелинейная жесткости доменной стенки.

Заметим, что для большинства кристаллов модуль упругости третьего порядка для сдвиговой деформации $C' = 0$, однако при наличии спонтанной деформации эффективный модуль третьего порядка $C' = C'' u_s$ (C'' — модуль упругости четвертого порядка), который при переходе через доменную границу меняет знак.

Кроме волны второй гармоники, генерируемой в направлении распространения волны, на границе домена происходит генерация волны двойной частоты в обратном направлении с амплитудой

$$u_{2\omega} = [(k_0^2/2k_2) C^* + 4ik_0^2(C/C_1) \Delta u] (\Delta u)^2 u_0^2 e^{i\varphi}. \quad (3)$$

Выражение (3) содержит как четную, так и нечетную степень Δu . Если кристалл содержит две доменные стенки, то члены, содержащие нечетную степень Δu , взаимно уничтожаются, так как имеют противоположные фазы. Таким образом, в полидоменных кристаллах остается вторая гармоника, обусловленная только собственной нелинейностью доменных границ. Учитывая, что дисперсия из-за наличия доменных стенок в кристалле мала и $k_0 \approx k_2$, получим, что при прохождении N доменных границ сигналы второй гармоники будут складываться, что дает для амплитуды выражение

$$u_{2\omega} = N k_0 (C_2 C^2 / 2C_1^3) (\Delta u)^2 u_0^2 e^{i\varphi}. \quad (4)$$

Если плотность доменных стенок на единицу длины равна n , то вторая гармоника нарастает линейно с расстоянием. В действительности следует учесть отражение волн от доменной границы и преобразование в другие моды. Тогда нарастание и спад амплитуды в пространстве будет происходить так же, как и в случае обычной распределенной нелинейности.

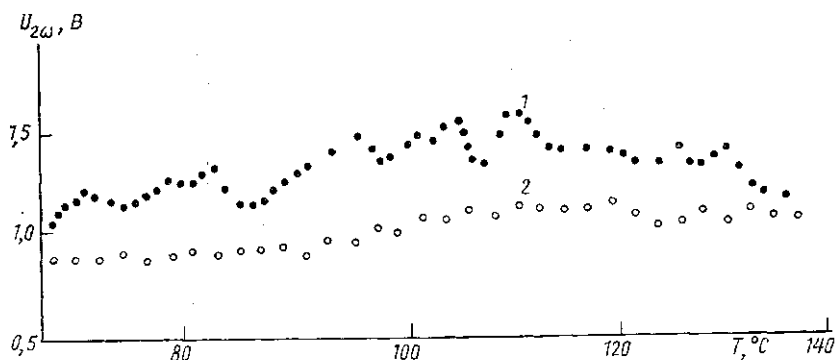


Рис. 1. Зависимость амплитуды второй гармоники продольной волны вдоль [110] от температуры в молибдате гадолиния: 1 — полидоменный кристалл, 2 — тот же кристалл, монодоменизированный давлением

Экспериментально вторая акустическая гармоника наблюдалась в кристаллах молибдата гадолиния на частотах 12—24 и 30—60 МГц при помощи обычной импульсной методики. Молибдат гадолиния яв-

ляется несобственным сегнетоэластиком со спонтанной деформацией u_{13}^s и имеет доменные стенки, расположенные строго по направлениям $[110]$ и $[\bar{1}\bar{1}0]$, которые хорошо наблюдаются в поляризованном свете. Эксперименты проводились с акустическими волнами различной поляризации, которые распространялись вдоль оси $[110]$. Состояние доменной структуры наблюдалось в поляризационном микроскопе.

При исследовании температурной зависимости амплитуды второй гармоники продольной волны в молибдате гадолия было обнаружено увеличение сигнала второй гармоники в области интенсивного формирования доменной структуры в диапазоне температур от 80 до 140°C (рис. 1, кривая 1). В монодоменизированном с помощью одноосного давления образце сигнал второй гармоники был существенно меньше (кривая 2).

На рис. 2 приведена зависимость амплитуды второй гармоники $u_{2\omega}$ от числа доменных стенок N при комнатной температуре. В этом случае домены противоположно знака создавались в монодоменизированной матрице с помощью неоднородного давления. Экспериментальные данные показывают, что максимальное (50%) относительное увеличение амплитуды второй гармоники испытывает волна с поляризацией, соответствующей спонтанной деформации кристалла (кривая 1). Для волны с перпендикулярной поляризацией нарастания не обнаружено (кривая 2). Продольная волна испытывала изменение на 10% при $N=10$ (кривая 3), что связано с некоторой разориентацией кристалла или преобразованием мод на клиновидных и линзовидных доменах. Уменьшение амплитуды второй гармоники при большом числе границ обусловлено увеличением затухания и интерференцией волн, отраженных от доменных стенок.

Таким образом, перестраивая доменную структуру сегнетоэластика с помощью внешних воздействий, принципиально можно управлять нелинейными упругими характеристиками кристаллов.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Гуревич Г. А., Сандлер М. С., Чертков Ю. С. // Радиотехн. и электроника. 1973. 18, № 12. С. 2609. [2] Peusin J. C., Tesson M. // Phys. Stat. Solidi (a). 1976. 37, N 1. P. 119. [3] Белов В. В., Сердобольская О. Ю. // ФТТ. 1984. 26, № 9. С. 2624. [4] Зарембо Л. К., Морозова Г. П., Сердобольская О. Ю. // ФТТ. 1986. 28, № 10. С. 3213.

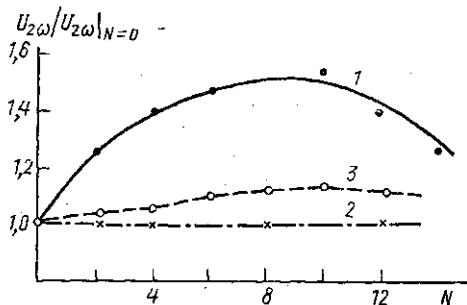


Рис. 2. Зависимость относительной амплитуды второй акустической гармоники для волн разных поляризаций от числа доменных стенок в молибдате гадолия: 1 — волна с поляризацией u_1 , 2 — u_2 , 3 — u_2' в координатах, повернутых в плоскости YOZ на 45°

Поступила в редакцию
17.12.93