

07;08

Влияние освещенности на характеристики акустических волн в структуре пьезоэлектрическая пластина–фотопроводящий слой

© И.А. Бородина, И.Е. Кузнецова, Б.Д. Зайцев, С.Г. Джоши

Саратовское отделение Института радиотехники и электроники РАН

E-mail: iren@ire.san.ru

Marquette University, Milwaukee, WI 53201, USA

Поступило в Редакцию 11 марта 2001 г.

Теоретически исследовано влияние света на характеристики волны с поперечно-горизонтальной поляризацией (SH_0), распространяющейся в структуре пьезоэлектрическая пластина (Y–X ниобат лития или Y–X ниобат калия)–фотопроводящий слой (сульфид кадмия) с толщинами h_1 и h_2 соответственно. Анализ показал, что чувствительность изучаемой структуры к свету в сильной степени зависит от значений толщин h_1 и h_2 и достигает максимальной величины при $h_1 = 0.1\lambda$ и $h_2 = 0.01\lambda$ (λ — длина волны). Например, в структуре на основе ниобата лития максимальное значение относительного изменения скорости составляет 16%, а затухания — 5 dB/ λ при изменении освещенности от 0.1 до 10^6 lx. Аналогичные данные для ниобата калия — 47% и 17 dB/ λ . Полученные результаты показывают перспективность использования рассматриваемой структуры для разработки фотоприемников и измерителей светового излучения.

В настоящее время большой интерес исследователей вызывают акустические моды с поперечно-горизонтальной поляризацией нулевого порядка (SH_0), распространяющиеся в тонких по сравнению с длиной волны пьезоэлектрических пластинах [1–3]. Эти волны обладают значительно большим коэффициентом электромеханической связи (K) по сравнению с поверхностными волнами Рэлея [4,5]. Поэтому использование SH_0 -волн может значительно повысить эффективность пьезоэлектрических структур, содержащих проводящие слои, чувствительные к внешним воздействиям (к свету, к электрическим и магнитным полям и т.д.).

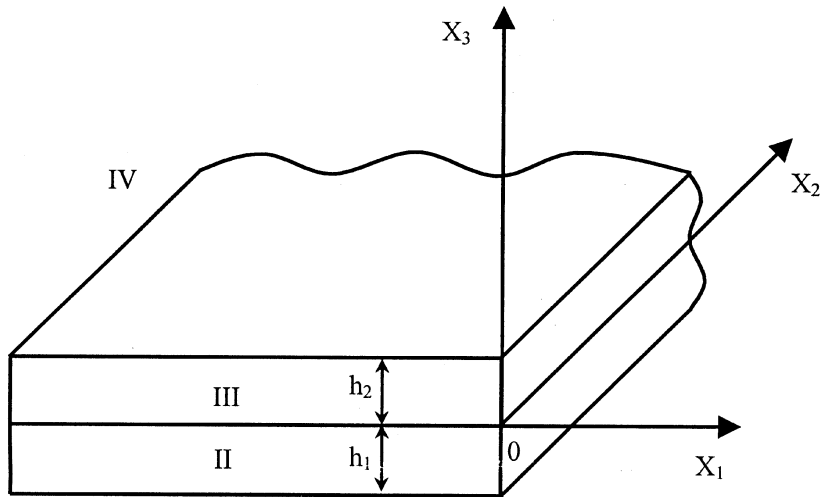


Рис. 1. Анализируемая структура. Области I и IV соответствуют вакууму, а области II и III — пьезоэлектрической пластине толщиной h_1 и фотопроводящему слою толщиной h_2 .

В работе проведено теоретическое исследование влияния освещенности на скорость и затухание SH_0 -волны, распространяющейся в структуре пьезоэлектрическая пластина (II) — фотопроводящий слой (III) (рис. 1). Области I ($x_3 < -h_1$) и IV ($x_3 > h_2$), где h_1 и h_2 — толщины пьезоэлектрической пластины и фоточувствительного слоя, соответствуют вакууму. Мы рассматриваем двумерную задачу, в рамках которой все переменные предполагаются постоянными в направлении оси x_2 .

Волна, распространяющаяся вдоль структуры в направлении оси x_1 , описывается стандартной системой уравнений, а именно: уравнением движения (1), уравнением Лапласа (2) или уравнением Пуассона (3), материальными уравнениями для механического напряжения (4) и электрической индукции (5), уравнением сохранения заряда (6) и уравнением для тока проводимости с учетом диффузии носителей заряда (7):

$$\rho^{II,III} \partial^2 U_{ij}^{II,III} / \partial t^2 = \partial T_{ij}^{II,III} / \partial x_j, \quad (1)$$

$$\partial D_j^{II} / \partial x_j = 0, \quad (2)$$

$$\partial D_j^{III} / \partial x_j = -\delta_v, \quad (3)$$

$$T_{ij}^{II,III} = C_{ijkl}^{II,III} \partial U_l^{II,III} / \partial x_k + e_{kij}^{II,III} - \partial \Phi^{II,III} / \partial x_k, \quad (4)$$

$$D_j^{II,III} = -\varepsilon_{jk} \partial \Phi^{II,III} / \partial x_k + e_{ilk}^{II,III} \partial U_l^{II,III} / \partial x_k, \quad (5)$$

$$\partial J_r^{III} / \partial x_r = -\partial \delta_v / \partial t, \quad (6)$$

$$J_r^{III} = -\sigma_{rn}^v \partial \Phi^{III} / \partial x_n + d_{rp} \partial \delta_v / \partial x_p. \quad (7)$$

Здесь ρ — плотность среды; U_i — i -компонента механического смещения частиц; T_{ij} — тензор механического напряжения; Φ — электрический потенциал; C_{ijkl} , e_{ijk} , ε_{jk} — упругие, пьезоэлектрические и диэлектрические постоянные соответственно; D_j — j -компонента вектора электрической индукции, t — время; δ_v — объемная плотность заряда; J_r^{III} — ток проводимости; σ_{rn}^v — объемная проводимость; d_{rp} — коэффициент диффузии.

В вакууме электрический потенциал удовлетворяет уравнению Лапласа (8) для областей I и IV:

$$\partial D_j^{I,IV} / \partial x_j = 0. \quad (8)$$

Были также использованы стандартные механические (9), (10) и электрические (11), (12) граничные условия:

$$U_i^{II} = U_i^{III}, \quad T_{3j}^{II} = T_{3j}^{III} \quad \text{при } x_3 = 0; \quad (9)$$

$$T_{3j}^{II} = 0 \quad \text{при } x_3 = -h_1; \quad T_{3j}^{III} = 0 \quad \text{при } x_3 = h_2; \quad (10)$$

$$\Phi^I = \Phi^{II}, \quad D_j^I = D_j^{II} \quad \text{при } x_3 = -h_1; \quad \Phi^{II} = \Phi^{III}, \quad D_j^{II} = D_j^{III} \quad \text{при } x_3 = 0;$$

$$\Phi^{III} = \Phi^{IV}, \quad D_j^{III} = D_j^{IV} \quad \text{при } x_3 = h_2; \quad (11)$$

$$J_3^{III} = 0 \quad \text{при } x_3 = 0, \quad \text{при } x_3 = h_2. \quad (12)$$

Поставленная задача решалась известным численным методом [6].

В качестве пьезоэлектрической пластины использовались $Y - X$ ниобат лития (LiNbO_3) и ниобат калия (KNbO_3), обладающие большой электромеханической связью для SH_0 моды [5,7]. Фотопроводящим материалом служила монокристаллическая пластина сульфида кадмия (CdS) Z -среза.

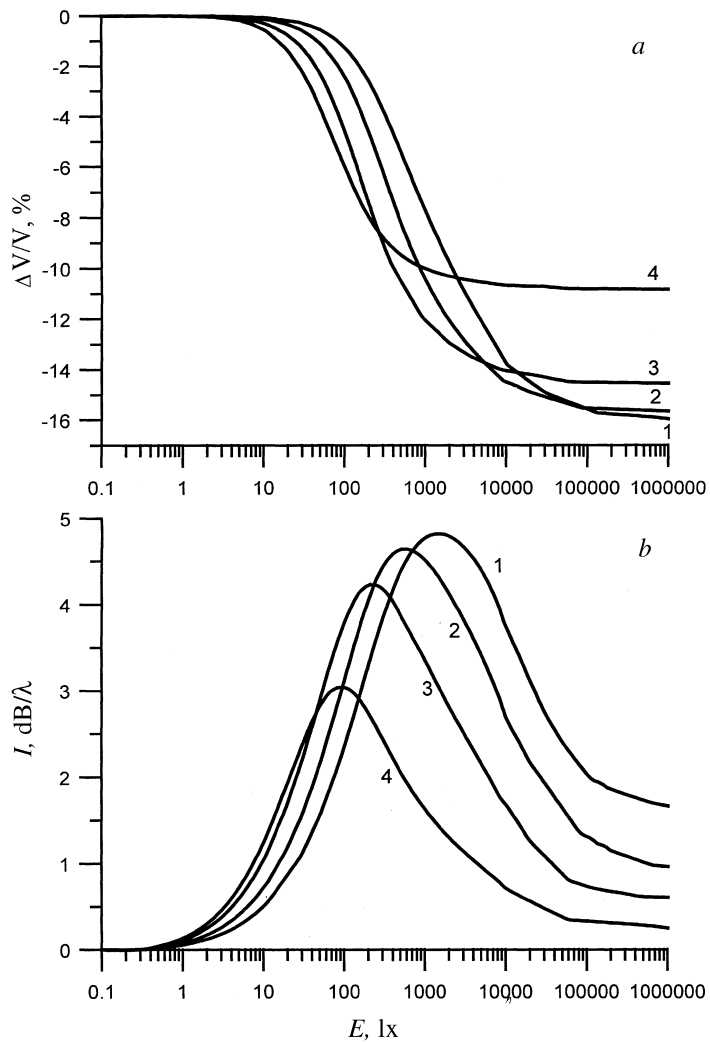


Рис. 2. Зависимости относительного изменения скорости $\Delta V/V$ (a) и затухания I (b) SH_0 -волны, распространяющейся в структуре $\text{LiNbO}_3\text{-CdS}$, от освещенности E . Толщина пластины LiNbO_3 составляет 0.1λ . Кривые 1, 2, 3 и 4 соответствуют значениям толщины пластины CdS 0.01λ , 0.03λ , 0.05λ и 0.1λ .

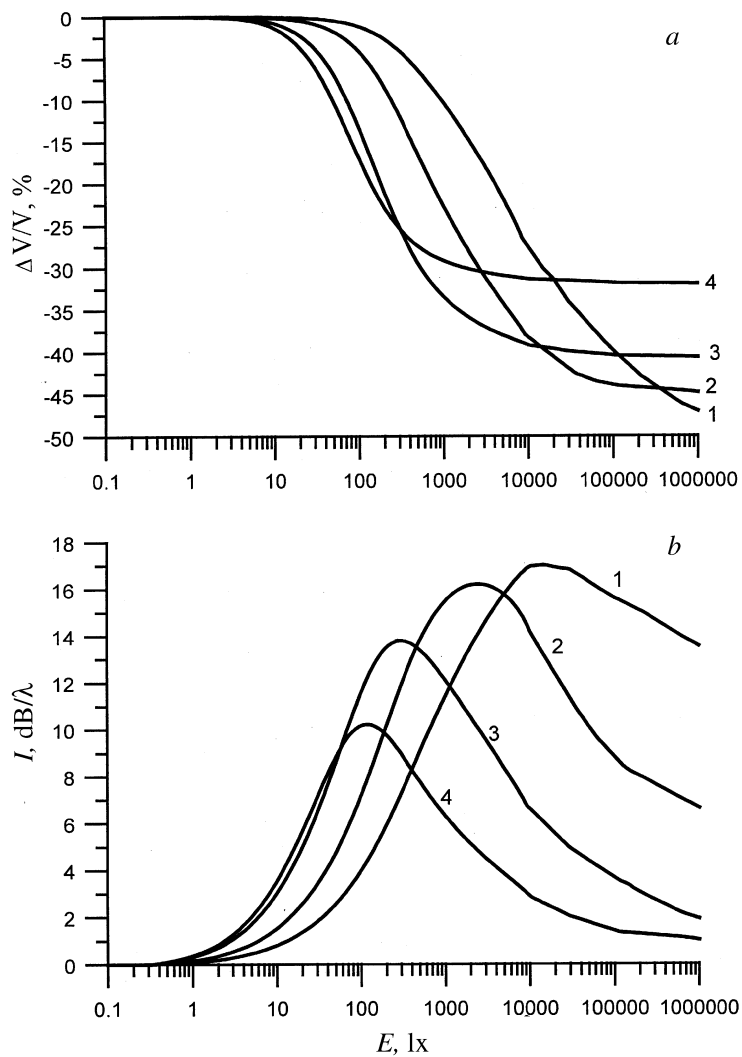


Рис. 3. Зависимости относительного изменения скорости $\Delta V/V$ (a) и затухания I (b) SH_0 -волны, распространяющейся в структуре $\text{KNbO}_3\text{-CdS}$ от освещенности E . Толщина пластины KNbO_3 составляет 0.1λ . Кривые 1, 2, 3 и 4 соответствуют значениям толщины пластины CdS 0.01λ , 0.02λ , 0.05λ и 0.1λ .

Вначале анализировалось влияние объемной проводимости CdS на относительное изменение скорости и затухания SH_0 -волны для различных значений толщин h_1 и h_2 . Затем по известной характеристике объемная проводимость CdS – освещенность [8] определялась функциональная связь изменения скорости и затухания SH_0 -волны с освещенностью.

На рис. 2 приведены зависимости относительного изменения скорости ($\Delta V/V$) (a) и затухания (b) SH_0 -волны от освещенности для структуры $LiNbO_3$ -CdS при фиксированной толщине $h_1 = 0.1\lambda$ (λ — длина волны) и различных значениях величины h_2 . Аналогичные зависимости для структуры $KNbO_3$ -CdS представлены на рис.3. Из рис. 2 и 3 видно, что в структуре на основе $LiNbO_3$ максимальная величина относительного изменения скорости составляет 16%, а затухания — 5 dB/ λ при изменении освещенности от 0.1 до 10^6 lx ($h_1 = 0.1\lambda$ и $h_2 = 0.01\lambda$). Аналогичные данные для $KNbO_3$ — 47% и 17 dB/ λ .

Проведенный анализ также показал, что изменение коэффициента диффузии, по крайней мере, на два порядка практически не влияет на характеристики SH_0 -волны в рассматриваемой структуре. Это означает, что полученные результаты справедливы не только для монокристаллов CdS, но и для пленочных структур на его основе.

В целом, полученные результаты свидетельствуют о высокой чувствительности двуслойной структуры пьезоэлектрик-фотопроводящий слой к воздействию света и могут быть полезными для разработки акустических фотоприемников и измерителей светового излучения.

Материалы настоящей статьи получены при поддержке гранта РФФИ (№ 01-02-16266) и гранта Национального научного фонда (США).

Список литературы

- [1] *Wenzel S.W., White R.M.* // IEEE Trans. Electron. Devices. 1988. V. 35. N 6. P. 735–743.
- [2] *Vellekoop M.J.* // Ultrasonics. 1998. V. 36. N 1–5. P. 7–14.
- [3] *Ballantine D.S., White R.M., Martin S.J., Ricco A.J., Zellers E.T., Frye G.C., Wohltjen H.* Acoustic Wave Sensors. San Diego: Academic Press, 1997. Ch. 3.
- [4] *Joshi S.G., Jin Y.* // IEEE Trans. Ultrason., Ferroel., and Freq. Control. 1996. V. 43. N 3. P. 491–494.

- [5] *Zaitsev B.D., Joshi S.G., Kuznetsova I.E.* // IEEE Ultras., Ferroel. and Freq. Control. 1999. V. 46. N 5. P. 1298–1302.
- [6] *Балакирев М.К., Гиллинский И.А.* Волны в пьезокристаллах. Новосибирск: Наука, 1982. 237 с.
- [7] *Kuznetsova I.E., Zaitsev B.D., Joshi S.G., Borodina I.A.* // Electronic Letters. 1998. V. 34. N 23. P. 2280–2281.
- [8] *Олск А.О.* Фоторезисторы. М.: Энергия, 1966. 128 с.
- [9] *Гуляев Ю.В., Кузнецова И.Е., Зайцев Б.Д., Джоши С.Г., Бородина И.А.* // Письма в ЖТФ. 1999. Т. 25. В. 8. С. 21–26.