

О ВОЗМОЖНОСТИ УСИЛЕНИЯ ПОВЕРХНОСТНЫХ АКУСТИЧЕСКИХ ВОЛН ПЕРЕМЕННЫМ ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ТОКОМ

Ж. Е. СМБАТЯН

Перспективность использования поверхностных акустических волн (ПАВ) в целях создания самых разнообразных устройств обработки информации (см., например, [1]) в значительной степени стимулирует всестороннее изучение явлений, связанных с распространением ПАВ. Одним из интересных в этом отношении явлений является эффект усиления ультразвука сверхзвуковым дрейфом электронов.

Практическое использование этого эффекта, однако, ограничено ввиду большого выделения джоулева тепла, что делает невозможным во всех случаях использование усиления в непрерывном режиме. Поэтому представляется небезынтересным поиск таких условий, иногда модельных, когда джоулево тепло выделяется в незначительной части объема образца, например, с поверхности и тем самым облегчается возможность практического использования указанного эффекта. Рассмотрению одной из таких ситуаций посвящено настоящее сообщение.

Рассмотрим для определенности пленку толщиной h пьезополупроводника типа сульфида кадмия (класс C_{6v}), причем одна поверхность пленки металлизирована, а другая прилегает к хорошо проводящему кристаллу изотропной или кубической симметрии (например, Ge). Ориентация пленки выбрана так, чтобы гексагональная ось Z и ось x лежали в ее плоскости. Вдоль поверхности такой слоистой структуры по оси x распространяется волна Лява с частотой ω и волновым вектором q . Внешнее электрическое поле E_d приложено в направлении оси y , являющейся внешней нормалью к поверхности пленки. В этих условиях система основных уравнений задачи в гидродинамическом приближении имеет вид:

а) в пьезополупроводнике

$$\rho_1 \frac{\partial^2 U_1}{\partial t^2} = C_{44(1)} \left(\frac{\partial^2 U_1}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 U_1}{\partial y^2} \right) + e_{15} \left(\frac{\partial E_x}{\partial x} + \frac{\partial E_y}{\partial y} \right), \quad (1)$$

$$\epsilon \left(\frac{\partial E_x}{\partial x} + \frac{\partial E_y}{\partial y} \right) - 4\pi e_{15} \left(\frac{\partial U_1}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 U}{\partial y^2} \right) = 4\pi e (n - n_0), \quad (2)$$

$$\frac{\partial n}{\partial t} + \frac{1}{e} \left(\frac{\partial j_x}{\partial x} + \frac{\partial j_y}{\partial y} \right) = 0, \quad (3)$$

$$j_x = \mu n e E_x - n D \frac{\partial n}{\partial x}, \quad (4)$$

$$j_y = \mu n e (E_d + E_y) - e D \frac{\partial n}{\partial y}, \quad (5)$$

$$\frac{\partial E_x}{\partial y} - \frac{\partial E_y}{\partial x} = 0; \quad (6)$$

б) в полупроводнике

$$\rho_2 \frac{\partial^2 U_2}{\partial t^2} = C_{44(2)} \left(\frac{\partial^2 U_2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 U_2}{\partial y^2} \right). \quad (7)$$

Здесь индексы 1 и 2 относятся соответственно к пьезополупроводнику и полупроводнику, ρ , C_{44} , ϵ и e_{15} — соответственно плотность, модуль упругости, диэлектрическая проницаемость и пьезомодуль, U — механическое смещение, E_x и E_y — компоненты переменного электрического поля, вызванного волной, e , n , n_0 , μ и D — соответственно заряд электрона, локальная и равновесная концентрации, подвижность и коэффициент диффузии электронов.

Считая величину константы электромеханической связи $\eta = \frac{4\pi e_{15}^2}{\epsilon \rho C_4}$ малой, можно совместно со стандартными граничными условиями решить систему уравнений (1)–(7) в линейном приближении и найти выражение, достаточно сложное в общем виде, для коэффициента α_e усиления (поглощения) ПАВ.

Вводя непринципиальные ограничения

$$qh \geq 1, \quad qr_D \ll 1, \quad \omega \tau_M \ll 1, \quad \frac{\tau_M v_d}{r_D} \gg 1,$$

где τ_M — максвелловское время релаксации, r_D — дебаевский радиус экранирования, $v_d \equiv \mu E_d$, это сложное выражение можно легко упростить и получить

$$\alpha_e = -\frac{\eta q}{2} \frac{\left[1 + 2(\omega \tau_M)^2 \left(1 - \frac{v_d}{v_s} \right) F_1 + 2(\omega \tau_M)^2 \frac{v_d}{v_s} F_2 \right] \omega \tau_M}{\left[1 + (\omega \tau_M)^2 \left(\frac{v_d}{v_s} \right)^2 \right]^2}, \quad (8)$$

где F_1 и F_2 — положительные величины порядка 1, определяемые геометрией задачи.

Если считать внешнее электрическое поле переменным, $E_d = E_0 \sin \Omega t$, причем частота Ω его изменения удовлетворяет неравенствам [2]

$$2\pi \frac{v_s}{L} \leq \Omega \ll \omega, \quad (9)$$

где v_s — скорость звука, L — длина образца, то легко получить в соответствии с [2] выражение для среднего

$$\left(\bar{\alpha}_e = \frac{1}{T} \int_0^T \alpha_e(\tau) d\tau \right)$$

по периоду T тянущего поля коэффициента усиления (поглощения) ПАВ:

$$\bar{\alpha}_e = -\eta q \frac{\omega\tau_M \left[2 + 4(\omega\tau_M)^2 - (\omega\tau_M)^2 \left(\frac{v_0}{v_s} \right)^2 \right]}{4 \left[1 + (\omega\tau_M)^2 \left(\frac{v_0}{v_s} \right) \right]^{3/2}}, \quad (10)$$

где $v_0 = \mu E_0$.

Легко видеть, что при

$$v_0 > \frac{v_s \sqrt{2}}{\omega\tau_M}$$

включение переменного поперечного электрического поля может привести к усилению волны Лява. Физически этот эффект легко объяснить по аналогии с эффектом усиления продольным электрическим полем (когда поле приложено в направлении распространения волны). Он связан с существованием в ПАВ потенциальных ям для электронов в поперечном направлении. Необходимые для усиления электрические поля в рассматриваемом случае будут выше, чем в продольном случае, однако так как толщина пленки может быть выбрана достаточно малой, может быть использован источник с относительно низким ЭДС.

Армянский педагогический институт им. Х. Абовяна

Поступила 12. III. 1981

ЛИТЕРАТУРА

1. Гордон Кайко. ТИИЭР, 64, 188 (1976).
2. А. С. Бугаев и др. Изв. АН АрмССР, Физика, 13, 195 (1978).

ՓՈՓՈԽԱԿԱՆ ԷԼԵԿՏՐԱԿԱՆ ՀՈՍԱՆՔՈՎ ՄԱԿԵՐԵՎՈՒՅՑՑԱՅԻՆ ԱԿՈՒՍՏԻԿ ԱԼԻՔՆԵՐԻ ՈՒԺԵՂԱՑՄԱՆ ՀՆԱՐԱՎՈՐՈՒԹՅԱՆ ՄԱՍԻՆ

ժ. Ե. ՍՄԲԱՏՅԱՆ

Դիտարկված է փոփոխական էլեկտրական հոսանքով ակուստիկ մակերևութային ալիքների ուժեղացման հնարավորությունը պլեզոկիսահաղորդիչ-կիսահաղորդիչ շերտավոր կառուցվածքներում: Ստացված է կալվալի ալիքի ուժեղացման գործակցի համար անալիտիկ արտահայտություն և ուժեղացման պայմանը:

TO THE POSSIBILITY OF INTENSIFICATION OF SURFACE ACOUSTIC WAVES BY MEANS OF ALTERNATING ELECTRIC CURRENT

Zh. E. SMBATIAN

The possibility of intensification of surface acoustic waves by means of alternating electric current in piezosemiconductor-semiconductor laminate structure is considered. An analytic expression for the coefficient of Lyava wave amplification is obtained and the condition of amplification is specified.