

ПОВЕРХНОСТНЫЕ ВОЛНЫ В ГИРОТРОПНЫХ ДИЭЛЕКТРИКАХ

Ю. М. АЙВАЗЯН, О. С. ЕРИЦЯН, О. С. МЕРГЕЛЯН

Определены условия распространения и структура поверхностных волн, распространяющихся вдоль границы двух сред, одна из которых гиротропна. Показано, что наличие гиротропии приводит к появлению двух типов (E и H) поверхностных волн, в отличие от изотропных сред, где могут существовать либо E , либо H -волны.

В последние годы появился ряд работ, посвященных генерации волн [2—4], распространяющихся в узком слое вдоль поверхности раздела сред с различными знаками диэлектрической проницаемости. В настоящей работе сделана попытка определить условия существования и структуру поверхностных волн в случае, когда одна из сред способна вращать плоскость поляризации волны. Показано, что наличие гиротропии приводит к появлению двух типов (E и H) поверхностных волн (в отличие от изотропных сред, где могут существовать либо E , либо H -волны).

Как известно [1], на границе раздела сред с положительной и отрицательной диэлектрической проницаемостями может распространяться поверхностная волна типа H (магнитное поле параллельно плоскости раздела).

Если z является нормалью к границе раздела, то поверхностная волна имеет вид

$$E_{1,2}(E_x, E_z) \cdot e^{i(kx - \omega t)} \cdot e^{-\alpha_{1,2}|z|}, \quad (1)$$

где

$$k = \frac{\omega}{c} \sqrt{\frac{\epsilon_1 \epsilon_2}{\epsilon_1 + \epsilon_2}}, \quad \alpha_{1,2} = \frac{\omega}{c} \sqrt{-\frac{\epsilon_{1,2}^2}{\epsilon_1 + \epsilon_2}}. \quad (2)$$

Из (2) следует, что при $\frac{\epsilon_1}{\epsilon_2} < 0$ необходимо, чтобы выполнялось и

$$\epsilon_1 + \epsilon_2 < 0. \quad (3)$$

Поверхностная волна типа E , у которой электрическое поле параллельно границе раздела, в случае изотропных диэлектриков распространяться не может [1].

Ниже мы покажем, что диэлектрические среды, способные вращать плоскость поляризации, допускают существование поверхностных E волн при выполнении условий (2—3).

1. Изотропная оптически активная среда.

Если при $z \leq 0$ у нас изотропная диэлектрическая среда с $\epsilon = \epsilon_1$ и $\mu = 1$, а при $z > 0$ изотропная оптически активная среда, и для которой

$$\vec{D}_2 + \varepsilon_2 \vec{E}_2 + \frac{\gamma}{k_2} [\vec{k}_2 \vec{E}_2], \vec{B}_2 = \vec{H}_2, \quad (4)$$

то условием существования поверхностных волн, распространяющихся в направлении x , будет

$$\left(\frac{\varepsilon_2 + \gamma}{\varepsilon_1} \alpha_1 + \alpha_2^+ \right) (\alpha_2^+ + \alpha_1) (\varepsilon_2 - \gamma) + \left(\frac{\varepsilon_2 - \gamma}{\varepsilon_1} \alpha_1 + \alpha_2^- \right) (\alpha_2^- + \alpha_1) (\varepsilon_2 + \gamma) = 0, \quad (5)$$

$$\alpha_2^\pm = \sqrt{k_x^2 - \frac{\omega^2}{c^2} (\varepsilon_2 \pm \gamma)}, \quad \alpha_1 = \sqrt{k_x^2 - \frac{\omega^2}{c^2} \varepsilon_1}.$$

Учитывая то, что $\left| \frac{\gamma}{\varepsilon_2} \right| \ll 1$, и решая (5) в первом приближении $\frac{\gamma}{\varepsilon_2}$, получим, что

$$k_x = \frac{\omega}{c} \sqrt{\frac{\varepsilon_1 \varepsilon_2}{\varepsilon_1 + \varepsilon_2}}, \quad (6)$$

т. е. в условие существования поверхностных волн первая степень по $\frac{\gamma}{\varepsilon_2}$ не входит и условия (2—3) сохраняют силу.

Однако в силу существования оптической активности из уравнений поля и материальных уравнений (4) следует

$$k_2^\pm \vec{E}_2^\pm = \mp i [k_2^\pm \vec{E}_2^\pm], \quad \vec{k}_2^\pm = \frac{\omega}{c} \sqrt{\varepsilon_2 + \gamma}, \quad (7)$$

откуда вытекает

$$E_{2y}^\pm = \mp i \sqrt{\frac{\varepsilon_1 + \varepsilon_2}{\varepsilon_1}} \left(1 \pm \frac{\gamma}{2\varepsilon_2} \right) E_{2x}^\pm. \quad (8)$$

Из (8) и граничных условий следует, что основной H -волне сопутствует смещенная по фазе на $\frac{\pi}{2}$ E -волна, амплитуда которой порядка

$\frac{\gamma}{\varepsilon_2}$ от основной, т. е.

$$\left| \frac{E_y}{H_y} \right| \sim \left| \frac{\gamma}{\varepsilon_2} \right|. \quad (9)$$

2. В качестве второго примера рассмотрим границу между вакуумом и гиротропным анизотропным диэлектриком, занимающим полупространство $z \gg 0$. Пусть его оптическая ось совпадает с осью z , а ε_{ik} имеет вид

$$\varepsilon_{ik} = \begin{pmatrix} \varepsilon & -ig & 0 \\ ig & \varepsilon & 0 \\ 0 & 0 & \varepsilon_3 \end{pmatrix}. \quad (10)$$

Обычно реализуется случай, когда $\left| \frac{g}{\varepsilon} \right| \ll 1$. При этом возможны два варианта: а) $|g| \ll |\varepsilon|$ и $|\varepsilon - \varepsilon_3| < g^2$ (это бывает при наложении на изотропный диэлектрик внешнего магнитного поля) и

$$6) |g| \ll |\varepsilon|, \text{ но } |\varepsilon - \varepsilon_3| \gg g^2.$$

В случае а) справедливы все выводы, сделанные для изотропной оптически активной среды, т. е. в первом приближении по g/ε и выполнении условий (2—3), где надо положить $\varepsilon_1 = 1$, а $\varepsilon_2 = \varepsilon$, мы имеем сопутствующую E -волну, у которой $E_y \sim g/\varepsilon \cdot H_y$. Влияние ε_3 в этом случае не сказывается. В случае б) мы не имеем в разложениях по g/ε членов первого порядка и в первом приближении задача сводится к поверхностным волнам в одноосном кристалле. Уравнения поля и граничные условия дают, что в этом случае распространяется только H -волна.

Необходимыми условиями являются

$$\varepsilon < 0, \frac{(\varepsilon - 1)\varepsilon_3}{\varepsilon\varepsilon_3 - 1} > 0. \quad (11)$$

Если одновременно с $\varepsilon < 0$ выполняется и $\varepsilon_3 < 0$, то это приводит к дополнительному условию

$$\varepsilon\varepsilon_3 > 1. \quad (12)$$

Если же $\varepsilon_2 > 0$, то при этом должно еще быть

$$\varepsilon_3 > 1.$$

Волна распространяется со скоростью

$$v_\phi = c \sqrt{\frac{\varepsilon\varepsilon_3 - 1}{\varepsilon_3(\varepsilon - 1)}}. \quad (13)$$

В заключение отметим, что на границе раздела магнетиков с различными знаками магнитной проницаемости возможно существование поверхностных волн типа E . Наличие гиротропии в этом случае приводит к появлению H -волн, интенсивность которых в областях частот, где параметр гирации g сравним с магнитной проницаемостью μ , сравнима с интенсивностью основной E -волны.

ВНИИФТРИ,

ИФИ АН АрмССР,

Ереванский физический институт

Поступила 28.VIII.1969

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц, Электродинамика сплошных сред, М., 1959.
2. В. Е. Пафомов, Е. П. Фетисов, ЖТФ, 53, 965 (1967).
3. В. Е. Пафомов, Труды ФИАН, XVI, 1961.
4. В. Е. Пафомов, Автореферат диссертации, ФИАН, 1969.

ՄԱԿԵՐԵՎՈՒՅԹԱՅԻՆ ԱԼԻՔՆԵՐԸ ԳԻՐՈՏՏՐՈՊ ԴԻԷԼԵԿՏՐԻԿՆԵՐՈՒՄ

Յու. Մ. ԱՅՎԱԶՅԱՆ, Հ. Ս. ԵՐԻՏՅԱՆ, Հ. Ս. ՄԵՐԳԵԼՅԱՆ

Որոշված են երկու միջավայրերի սահմանի երկայնքով տարածվող մակերևութային ալիքների կառուցվածքը և ալիքների տարածման պայմանները, երբ միջավայրերից մեկը գիրոտրոպ է։ Ցույց է տրված, որ գիրոտրոպիայի առկայությունը հանգեցնում է երկու տիպի (E և H) մակերևութային ալիքների երևան գալուն, ի տարբերություն իզոտրոպ միջավայրերի, որտեղ կարող են գոյություն ունենալ կամ E, կամ H ալիքներ։

SURFACE WAVES IN GYROTROPIC DIELECTRICS

Yu. M. AIVAZIAN, O. S. ERITSIAN, O. S. MERGELIAN

The conditions of propagation and the structure of the surface waves, propagating along the boundary between gyrotropic and isotropic media are determined.