



ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ
БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ
МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН
MINISTRY OF EDUCATION AND SCIENCE
OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN



Л. Н. ГУМИЛЕВ АТЫНДАҒЫ
ЕУРАЗИЯ ҰЛТТЫҚ УНИВЕРСИТЕТІ
ЕВРАЗИЙСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ ИМ. Л. Н. ГУМИЛЕВА
GUMILYOV EURASIAN
NATIONAL UNIVERSITY



Студенттер мен жас ғалымдардың
«Ғылым және білім - 2015»
атты X Халықаралық ғылыми конференциясының
БАЯНДАМАЛАР ЖИНАҒЫ

СБОРНИК МАТЕРИАЛОВ
X Международной научной конференции
студентов и молодых ученых
«Наука и образование - 2015»

PROCEEDINGS
of the X International Scientific Conference
for students and young scholars
«Science and education - 2015»

УДК 001:37.0
ББК72+74.04
Ғ 96

Ғ96

«Ғылым және білім – 2015» атты студенттер мен жас ғалымдардың X Халық. ғыл. конф. = X Межд. науч. конф. студентов и молодых ученых «Наука и образование - 2015» = The X International Scientific Conference for students and young scholars «Science and education - 2015». – Астана: <http://www.eni.kz/ru/nauka/nauka-i-obrazovanie-2015/>, 2015. – 7419 стр. қазақша, орысша, ағылшынша.

ISBN 978-9965-31-695-1

Жинаққа студенттердің, магистранттардың, докторанттардың және жас ғалымдардың жаратылыстану-техникалық және гуманитарлық ғылымдардың өзекті мәселелері бойынша баяндамалары енгізілген.

The proceedings are the papers of students, undergraduates, doctoral students and young researchers on topical issues of natural and technical sciences and humanities.

В сборник вошли доклады студентов, магистрантов, докторантов и молодых ученых по актуальным вопросам естественно-технических и гуманитарных наук.

УДК 001:37.0
ББК 72+74.04

ISBN 978-9965-31-695-1

©Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия
ұлттық университеті, 2015

На представленном графике заметны существенные изменения проводимости в зависимости от положения датчика над объектом. Это свидетельствует о неоднородности полупроводниковой структуры и, как следствие, о ее низком качестве.

3. Заключение

Полученные в ходе исследования результаты измерения электропроводности полупроводников демонстрируют возможности вихретокового метода для контроля качества полупроводниковых материалов. Благодаря высокой локализации магнитного поля удается получать данные с малых участков полупроводниковых пластин, за счет чего можно делать вывод о распределении примесей в полупроводниках на небольших участках. Таким образом, данный метод открывает широкие возможности для оценки качества полупроводниковых пластин.

Список использованной литературы

1. Дмитриев С.Ф., Ишков А.В., Маликов В.Н., Сагалаков А.М. Виртуализированный измеритель-трансформер. Датчики и системы. 2013. № 3 (166). С. 22-26.
2. Дмитриев С.Ф. Маликов В.Н. Ишков А.В. Сверхминиатюрные вихретоковые преобразователи для задач неразрушающего контроля неферромагнитных материалов// Известия ВУЗов. Физика. - 2012. - № 9/2.
3. Dmitriev S.F., Ishkov A.V., Malikov V.N., Sagalakov A.M. Subminiature Eddy Current Transducers for Studying Metal-Dielectric Junctions. Instruments and experimental techniques. 2014. Vol. 57. No.6. Pp. 751-754.
4. Polyakov V.V., Dmitriev S.F., Ishkov A.V., Kolubaev E.A., Malikov V.N. Non-destructive testing of aluminium alloys by using miniature eddy-current flaw transducers. Advanced Materials Research. 2014. Vol. 880. Pp. 105-108.
5. Дмитриев С.Ф., Ишков А.В., Сагалаков А.М. «Устройство для обнаружения дефектов малых линейных размеров», заявка на патент №2014120032 от 19.05.2014.
6. S F Dmitriev, A V Ishkov, V N Malikov, A M Sagalakov, A O Katasonov. Non-destructive testing of the metal-insulator-metal using miniature eddy current transducers. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2015. Volume 71 conference 1. Pp. 1-7.

УДК-537.874.2.

РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ ОТРАЖЕНИЯ, ПРЕЛОМЛЕНИЯ И ТРАНСФОРМАЦИИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ВОЛНЫ НА ГРАНИЦЕ АНИЗОТРОПНОГО ПОЛУПРОСТРАНСТВА МОНОКЛИННОЙ СИММЕТРИИ

Манасян Армен Суренович

Tleukenov_sk@enu.kz

Магистрант кафедры технической физика (ТФ), Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, Астана.

Научный руководитель: доктор ф.-м.н., профессор С.К.Тлеукунов.

Аннотация- Методом матрицанта впервые аналитически решена задача об отражении и преломлении электромагнитных волн ТЕ и ТМ поляризации на границе анизотропного полупространства моноклинной сингонии. Получены коэффициенты отражения, преломления и трансформации в явной аналитической форме.

Введение

В работе изложено решение задачи об отражении, преломлении и трансформации плоских электромагнитных волн на границе анизотропного полупространства моноклинной симметрии на основе метода матрицанта [1,2,3]. Среды моноклинной анизотропии относятся

к наиболее низким классам симметрии. В настоящее время отсутствуют аналитические исследования подобных задач. Изучение процессов отражения и преломления, позволяют определить направления и величины энергетических потоков. Важное значение имеет взаимные трансформации волн различной поляризации. Увеличивается интерес к характеристикам отражения, преломления на границе с метаматериалами и проявлением эффекта обратного преломления[4,5,].

1. Исходные уравнения

Распространение электромагнитных волн контактирующих средах описываются уравнениями Максвелла при отсутствии токов и зарядов:

$$\begin{aligned} \operatorname{rot} \vec{E} &= -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}; \\ \operatorname{rot} \vec{H} &= \frac{\partial \vec{D}}{\partial t}; \\ \rho &= 0; \vec{j} = 0; \\ \operatorname{div} \vec{D} &= 0; \\ \operatorname{div} \vec{B} &= 0. \end{aligned} \quad (1)$$

Первая среда (полупространство) изотропна. Во второй среде предполагается анизотропия моноклинной симметрии. Тензоры диэлектрической и магнитной проницаемости имеют вид:

$$\hat{\varepsilon} = \begin{pmatrix} \varepsilon_x & 0 & 0 \\ 0 & \varepsilon_y & \varepsilon_{yz} \\ 0 & \varepsilon_{yz} & \varepsilon_z \end{pmatrix}; \quad \hat{\mu} = \begin{pmatrix} \mu_x & 0 & 0 \\ 0 & \mu_y & \mu_{yz} \\ 0 & \mu_{yz} & \mu_z \end{pmatrix}. \quad (2)$$

Ось z направлена вглубь анизотропного полупространства. Процессы отражения, преломления и трансформации рассматриваются в плоскости (xz) . Отличными от нуля компонентами волнового вектора являются $k_z, \omega_z, k_x, \omega_x$; $\vec{k}$ и $\vec{\omega}$ волновые вектора электромагнитных волн ТЕ и ТМ поляризации.

Компоненты векторов электрического и магнитного поля не зависят от координаты y . Решение системы уравнений (1) с учетом (2) ищется в виде:

$$f(x, y, z, t) = f(z) e^{i\omega t - ik_x x} \quad (3)$$

Подстановка (3) в (1) приводит к системе обыкновенных дифференциальных уравнений первого порядка:

$$\begin{aligned} \frac{dE_y}{dz} &= -ik_y E_z + i\omega \mu_x H_x \\ \frac{dE_x}{dz} &= -ik_x E_z - i\omega \mu_y H_y + i\omega \mu_{yz} H_z \\ \frac{dH_y}{dz} &= -i\omega \varepsilon_x E_x - ik_y H_z \\ \frac{dH_x}{dz} &= i\omega \varepsilon_y E_y + i\omega \varepsilon_{yz} E_z - ik_x H_z. \end{aligned} \quad (4)$$

И двумя алгебраическими уравнениями:

$$\begin{aligned} -ik_x E_y + ik_y E_x &= -i\omega \mu_z H_z + i\omega \mu_{yz} H_y \\ -ik_x H_y + ik_y H_x &= i\omega \varepsilon_z E_z + i\omega \varepsilon_{yz} E_y. \end{aligned} \quad (5)$$

Падающая, на границу сред, плоская волна распространяется в изотропной среде и имеет компоненты (E_{y0}, H_{x0}) либо (H_{y0}, E_{x0}) .

2. Метод матрицанта. Аналитическое решение исходной системы

Применение метода матрицанта основано на исключении E_z компоненты электрического поля и H_z компоненты магнитного поля в системе (4) на основе (5).

Система уравнений (4) приводится к виду:

$$\frac{d\vec{W}}{dz} = \vec{B}\vec{W}; \quad \vec{W} = (E_y, H_x, H_y, E_x)^t \quad (6)$$

В (6) знак “t” означает транспонирование, т.е. перевод вектор-строки в вектор-столбец.

Матрица коэффициентов В имеет структуру:

$$B = \begin{pmatrix} 0 & b_{12} & 0 & 0 \\ b_{21} & 0 & b_{23} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & b_{34} \\ -b_{23} & 0 & b_{43} & 0 \end{pmatrix};$$

$$b_{12} = i\omega\mu_x;$$

$$b_{21} = i\omega\varepsilon_y - i\omega \frac{\varepsilon_{yz}^2}{\varepsilon_z} - i \frac{k_x^2}{\omega\mu_z}$$

$$b_{23} = ik_x \left(\frac{\mu_{yz}}{\mu_z} - \frac{\varepsilon_{yz}}{\varepsilon_z} \right); \quad (7)$$

$$b_{34} = -i\omega\varepsilon_x$$

$$b_{41} = -b_{23};$$

$$b_{43} = -i\omega \left(\mu_y - i \frac{\mu_{yz}^2}{\mu_z} - \frac{k_x^2}{\omega^2\varepsilon_z} \right).$$

В случае однородной среды, система уравнений (6), со структурой матрицы коэффициентов В в виде (7) имеет аналитическое решение, полученное на основе метода матрицанта [1,2,3].

$$T = \frac{B^2 - a^2 I}{a^2 - k^2} \cos kz - \frac{k^2 B + k^2 a^2}{a^2 - k^2} \frac{\sin kz}{k} - \frac{B^2 + k^2 I}{a^2 - k^2} \cos 2az + \frac{a^2 B + a^2 k^2 I}{a^2 - k^2} \frac{\sin 2az}{a} \quad (8)$$

Решение (8) есть представление аналитического решения системы уравнений (6) в форме матрицанта.

3. Решение задачи об отражении, преломлении и трансформации.

Волна, падающая на границу контакта изотропного и анизотропного полупространств может быть задана компонентами поля ТЕ либо ТМ волны. При задании падающей волны волновое поле волн другой поляризации будет порождаться вследствие трансформации.

Матричная формулировка условий на границе сред при отражении и преломлении волн имеет вид [6,7].

$$\vec{W}_0 + \vec{W}_R = \vec{W}_T; \quad (9)$$

$$-R_0 \vec{W}_0 + R_0 \vec{W}_R = -R \vec{W}_T.$$

В (9) $\vec{W}_0, \vec{W}_R, \vec{W}_T$ – вектор-столбцы падающих, отраженных и преломленных волн при $z=0$ R_0, R . Матрицы граничных условий, полученные из аналитического представления (8) при разделении волн на прямые и обратные волны и устремлении $z \rightarrow 0$.

$$R = \frac{B - k a B^{-1}}{2i(k + a)}.$$

$$B = \begin{pmatrix} 0 & b_{12} & 0 & 0 \\ b_{21} & 0 & b_{23} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & b_{34} \\ -b_{23} & 0 & b_{43} & 0 \end{pmatrix};$$

$$B^{-1} = \begin{pmatrix} 0 & \frac{b_{43}}{\Delta_2^2} & 0 & -\frac{b_{23}}{\Delta_2^2} \\ \frac{b_{34}}{\Delta_1^2} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{b_{23}}{\Delta_2^2} & 0 & \frac{b_{21}}{\Delta_2^2} \\ 0 & 0 & \frac{b_{12}}{\Delta_1^2} & 0 \end{pmatrix}. \quad (10)$$

Элементы b_{ij} имеют вид 7. На основании (10) матрица R имеет структуру:

$$2i(k + \varkappa)R = \begin{pmatrix} 0 & r_{12} & 0 & r_{14} \\ r_{21} & 0 & r_{23} & 0 \\ 0 & -r_{14} & 0 & r_{34} \\ -r_{23} & 0 & r_{43} & 0 \end{pmatrix};$$

$$r_{12} = b_{12} - \frac{\Delta_1}{\Delta_2} b_{43};$$

$$r_{14} = \frac{\Delta_1}{\Delta_2} b_{23}$$

$$r_{21} = b_{21} - \frac{\Delta_2}{\Delta_1} b_{34}; \quad (11)$$

$$r_{23} = b_{23}$$

$$r_{34} = b_{34} - \frac{\Delta_2}{\Delta_1} r_{12};$$

$$r_{43} = b_{43} - \frac{\Delta_2}{\Delta_1} b_{12}.$$

Матрица R_0 для изотропной среды имеет вид:

$$2i(k_0 + \varkappa_0)R_0 = \begin{pmatrix} 0 & r_{12}^0 & 0 & 0 \\ r_{21}^0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & r_{34}^0 \\ 0 & 0 & r_{43}^0 & 0 \end{pmatrix};$$

$$b_{12}^0 = i\omega\mu; \quad b_{21} = i\omega\left(\varepsilon - \frac{k_x^2}{\omega^2\mu}\right); \quad (12)$$

$$b_{34}^0 = -i\omega\varepsilon; \quad b_{43} = -i\omega\left(\mu - \frac{k_x^2}{\omega^2\varepsilon}\right).$$

$$r_{12}^0 = \frac{b_{12}^0}{2ik}; \quad r_{21}^0 = \frac{b_{21}^0}{2ik}; \quad r_{34}^0 = \frac{b_{34}^0}{2i\varkappa}; \quad r_{43}^0 = \frac{b_{43}^0}{2i\varkappa}.$$

В (9) вектор-столбец падающий волны может быть задан либо ТЕ волной, либо ТМ волной:

$$\vec{W}_0 = (E_{y_0}, H_{x_0}, 0, 0)^T; \quad \vec{W}_0 = (0, 0, H_{y_0}, E_{x_0})^T. \quad (13)$$

Отраженные и преломленные волны ищутся в виде:

$$\vec{W}_R = (E_y, H_x, H_y, E_x)_R^T; \quad \vec{W}_T = (E_y, H_x, H_y, E_x)_T^T. \quad (14)$$

Из граничных условий (9) следует:

$$\vec{W}_R = (R_0 + R)^{-1}(R_0 + R)\vec{W}_0; \quad (15)$$

$$\vec{W}_T = [I + (R_0 + R)^{-1}(R_0 + R)]\vec{W}_0 = [I + G]\vec{W}_0.$$

$$G = (R_0 + R)^{-1}(R_0 + R).$$

Введем обозначения:

$$r_{ij}^{\pm} = r_{ij}^0 \pm r_{ij} \quad (16)$$

Вычисления приводят к следующей структуре матрицы G :

$$G = \begin{pmatrix} g_{11} & 0 & g_{13} & 0 \\ 0 & g_{22} & 0 & g_{24} \\ g_{31} & 0 & g_{33} & 0 \\ 0 & g_{42} & 0 & g_{44} \end{pmatrix} \quad (17)$$

При задании падающей ТЕ волны, для отраженных волн из (15) на основе (17) получим:

$$\begin{aligned} E_{yR} &= g_{11}E_{y0}; & H_{xR} &= g_{22}H_{x0}; \\ E_{xR} &= g_{42}H_{x0}; & H_{yR} &= g_{31}E_{y0}. \end{aligned} \quad (18)$$

Вектор $\vec{W}_R$ принимает вид:

$$\vec{W}_R = (g_{11}E_{y0}; g_{22}H_{x0}; g_{31}E_{y0}; g_{42}H_{x0})^t \quad (19)$$

Если падающая волна имеет ТМ поляризацию компоненты поля отраженных волн имеют вид:

$$\begin{aligned} E_{yR} &= g_{13}H_{y0}; & H_{xR} &= g_{24}E_{x0}; \\ E_{xR} &= g_{44}E_{x0}; & H_{yR} &= g_{33}H_{y0}. \end{aligned} \quad (20)$$

Поле преломленных волн непосредственно следует из первого граничного условия (9):

$$\vec{W}_T = \vec{W}_R + \vec{W}_0 \quad (21)$$

Явный вид $\vec{W}_T$ определяется заданным полем (14) и полем отраженных волн (18) или (20).

Таким образом, в работе в явной аналитической форме получено решение задач отражения и преломления с учетом трансформации волн на границе анизотропного диэлектрического полупространства моноклинной симметрии.

Список использованных источников

1. S.K. Tleukenov: Matricant Method: wave propagation in anisotropic media. Lap-Lambert academic publishing, 2014.
2. S.K. Tleukenov: A method for the analytical description of coupled-field waves in various anisotropic media// Acta Mechanica, 2014 (accepted) DOI 10.1007/s 00707-014-1149-6.
3. S.K. Tleukenov: Wave processes and method matricant. Scientific journal of the L. Gumilyov Eurasian National University, 2011. no. 4, 68-74. (in Russian).
4. S.-H. Liu, L.-X. Guo. Progress in Electromagnetic Research, 115, 243 (2011).
5. Liu, S. H., C. H. Liang, W. Ding, L. Chen, and W. T. Pan, "Electromagnetic wave propagation through a slab waveguide of uniaxially anisotropic dispersive metamaterial," Progress In Electromagnetics Research, Vol. 76, 467–475, 2007.
6. Tleukenov S.K., Zhukonov M.K., Analytical solution of the reflection and refraction of electromagnetic waves at the interface of an isotropic dielectric and anisotropic magneto-dielectric effect. Proc. Nat. Acad. Sc. Kazakhstan. Math. Series. – Almaty, 2009. - № 5 (267). – S. 67-69.
7. S.K. Tleukenov, N.K. Zhakiyev, L.A. Yeltinova: An Analytical Solution of the Refraction Problems for Coupled Waves in Elastic and Piezoelectric Media. Funded by Ministry of Education and Science of Republic of Kazakhstan under the contract 055/101/378 (04.02.2013).