

УДК 57.054

РАСПРЕДЕЛЕННЫЕ ВЫЧИСЛЕНИЯ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ СО СТРУКТУРИРОВАННОЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ

Копыльцов Александр Васильевич¹, Коршунов Константин Александрович²,
Лукьянов Геннадий Николаевич³, Серов Игорь Николаевич²

¹Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ»,
Россия, Санкт-Петербург, ул. Профессора Попова, д. 5,

²Фонд «АЙРЭС», Россия, Санкт-Петербург, Выборгская наб., д. 61,

³Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, Россия, Санкт-Петербург, Кронверкский пр., д. 49,
e-mails: kopyl2001@mail.ru, gnluk@rambler.ru, foundation@aires.fund

Аннотация: В статье рассмотрены проблемы взаимодействия электромагнитного излучения с определенным образом структурированными пластинками (резонаторами «АЙРЭС»). Излучение падает на пластинку и за счет образования в пластинке свободных электронов, дифракции и зеркального отражения, в окружающем пространстве создается преобразованное излучение, которое отличается от падающего на пластинку. Построена математическая модель и проведены расчеты на кластере высокопроизводительных параллельных вычислений, которые показали, что результирующее излучение существенно отличается от падающего на пластинку, в частности, оно обладает фрактальным самоподобием и над центральной частью пластинки образуется мощная волна излучения. Резонатор «АЙРЭС» может быть использован для защиты от окружающего нас электромагнитного излучения исходящего, например, от бытовых приборов, таких как телефоны, СВЧ – печи, холодильники и др.

Ключевые слова: электромагнитное излучение; взаимодействие с веществом; математическое моделирование; распределенные вычисления

DISTRIBUTED COMPUTING OF INTERACTIONS OF ELECTROMAGNETIC RADIATION WITH A STRUCTURED SURFACE

Alexandr Kopyltsov¹, Konstantin Korshunov², Gennady Lukianov³, Igor Serov²

¹The St. Petersburg State Electrotechnical University "LETI",
Russia, St. Petersburg, Professor Popov str., 5,

²Found «AIRES», Vyborgskaya emb, 61,

³St. Petersburg National Research University of Information Technologies,
Mechanics and Optics, Russia, St. Petersburg, Kronverksky av., 49,
e-mails: kopyl2001@mail.ru, gnluk@rambler.ru, foundation@aires.fund

Abstract: The article deals with the problem of interaction of electromagnetic radiation with a certain way structured plates (resonators "AIRES"). The radiation incident on the plate and by forming the plate into the free electrons, diffraction and reflection mirror, in the surrounding space creates the converted radiation differs from that incident on the plate. A mathematical model and calculations on a cluster for high performance parallel computing, which showed that the resulting radiation is significantly different from the incident on the plate, in particular, it has a fractal self-similarity and the central part of the plate forms a powerful wave radiation. Resonator "AIRES" can be used for protection against electromagnetic radiation around us originating, for example, from household appliances, such as telephones, microwave - ovens, refrigerators and others.

Keywords: electromagnetic radiation; interaction with matter; math modeling; distributed computing

Введение. Поверхность резонаторов «АЙРЭС» изготовлена в виде криволинейных щелей (круговых канавок), рисунок которых подчиняется законам самоподобия и масштабной инвариантности и выполнен на основе аффинных преобразований. Резонатор «АЙРЭС» изготавливается на кремниевой подложке (диаметр подложки 7,5 мм, толщина 1 мм), на поверхности которой сформирована сложная система кольцевых канавок прямоугольного сечения с шириной 1 мкм и глубиной 1,2 мкм, образующих регулярную самоаффинную структуру. Подложка может быть изготовлена как из кремния, так и из текстолита и других материалов. Диаметр и толщина подложки, ширина и глубина канавок так же могут быть любыми. Электрическое поле при взаимодействии с полупроводником вызывает явление смещения зарядов и, вследствие того, что в области щелей пластина имеет меньшую толщину, концентрация носителей заряда в них выше, чем в соседних

областях [1], [2], [3], [4], [5], [6], [7], [8], [9].

Моделировалось как распределение электрических зарядов по поверхности резонатора с учетом его рельефа, так и напряженность электрического поля над поверхностью резонатора. При моделировании принималось, что носители заряда сосредотачиваются в щелях. Кроме того, предполагается, что если плотность зарядов в двух соседних щелях составляет, соответственно, q_1 и q_2 , а потенциалы φ_1 и φ_2 , то при достижении потенциалом какого-то критического значения $\varphi_{кр}$ возникает пробой по кратчайшему расстоянию между канавками l .

Описание модели. При моделировании закон сохранения для электронов и дырок можно записать в виде:

$$\frac{\partial}{\partial t}(n_e + a_e n_A y_e) = q - \text{div}[V_e (n_e + a_e n_A y_e) - D_e \text{grad}(n_e + a_e n_A y_e)] - b_e n_e n_p, \quad (1)$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(n_p + a_p n_A y_p) = q - \text{div}[V_p (n_p + a_p n_A y_p) - D_p \text{grad}(n_p + a_p n_A y_p)] - b_p n_e n_p, \quad (2)$$

где n_e - концентрация свободных электронов, n_p - концентрация дырок, n_A - концентрация атомов, y_e - степень насыщения атомов электронами, y_p - степень насыщения атомов дырками, V_e - вектор скорости активного транспорта электронов, V_p - вектор скорости активного транспорта дырок, D_e - коэффициент диффузии электронов, D_p - коэффициент диффузии дырок, q - скорость появления свободных электронов и дырок, a_e , a_p , b_e , b_p - коэффициенты.

В нашем случае:

$$\frac{\partial n_e}{\partial t} = q - \mu_e \left(\frac{\partial E n_e}{\partial x} + \frac{\partial E n_e}{\partial y} + \frac{\partial E n_e}{\partial z} \right) + D_e \left(\frac{\partial^2 n_e}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 n_e}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 n_e}{\partial z^2} \right) - b_e n_e n_p, \quad (3)$$

$$\frac{\partial n_p}{\partial t} = q - \mu_p \left(\frac{\partial E n_p}{\partial x} + \frac{\partial E n_p}{\partial y} + \frac{\partial E n_p}{\partial z} \right) + D_p \left(\frac{\partial^2 n_p}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 n_p}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 n_p}{\partial z^2} \right) - b_p n_e n_p, \quad (4)$$

$$V_e = \mu_e E, \quad (5)$$

$$V_p = \mu_p E, \quad (6)$$

где μ_e - подвижность электронов, μ_p - подвижность дырок, E - напряженность электрического поля.

Частота колебаний электрона в равномерно заряженной пластинке

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{4\pi k_0 e \rho}{m_e}}, \quad (7)$$

где $\rho = n_e e$ - заряд единичного объема пластины, e - заряд электрона, m_e - масса электрона, $k_0 = 9 \cdot 10^9 \text{ Н м}^2/\text{Кл}^2$ - постоянная [10].

Если на пластину падает волна:

$$E_{пад} = E_0 \cos \omega(t - \frac{z}{c}), \quad (8)$$

то

$$E = E_0 \cos \theta + \Delta E_0 \cos(\theta - \frac{\pi}{2}) = E_0 \left(\cos \omega(t - \frac{z}{c}) + \frac{2\pi k_0 n_e e^2 \omega}{c m_e (\omega_0^2 - \omega^2)} \Delta z \right), \quad (9)$$

$$\theta = \omega(t - \frac{z}{c}), \quad (10)$$

$$\Delta E_0 = \frac{2\pi k_0 n_e e^2 \omega}{c m_e (\omega_0^2 - \omega^2)} E_0 \Delta z, \quad (11)$$

где n_e - концентрация электронов, ω_0 - частота колебаний электронов, Δz - толщина пластины, c - скорость света, m_e - масса электрона [10].

Первое слагаемое - за счет отражения, второе - за счет свободных электронов. Для дырок ΔE_0 можно оценить по формуле, аналогичной для электронов.

Если на поверхности пластины есть узкие щели, то нужно учитывать дифракцию:

$$\frac{I_{\beta}}{I_0} = \frac{\sin^2(\frac{\pi b}{\lambda} \sin \beta)}{(\frac{\pi b}{\lambda} \sin \beta)^2}, \quad (12)$$

где I_{β} - интенсивность волн распространяющихся под углом β , I_0 - интенсивность волн распространяющихся под углом $\beta = 0$, b – ширина щели, β - угол, λ - длина волны.

Поскольку интенсивность волны пропорциональна квадрату амплитуды [10], то

$$\frac{I_{\beta}}{I_0} = \frac{E_{\beta}^2}{E_0^2} = \frac{\sin^2(\frac{\pi b}{\lambda} \sin \beta)}{(\frac{\pi b}{\lambda} \sin \beta)^2}, \quad (13)$$

$$E_{\beta} = E_0 \frac{\sin(\frac{\pi b}{\lambda} \sin \beta)}{\frac{\pi b}{\lambda} \sin \beta}. \quad (14)$$

Таким образом, в итоге в общем виде имеем вектор

$$E = E_{\text{отражение}} + E_{\text{электроны}} + E_{\text{дырки}} + E_{\text{дифракция}}, \quad (15)$$

где $E_{\text{отражение}}$ - за счет отражения, $E_{\text{электроны}}$ - за счет свободных электронов, $E_{\text{дырки}}$ - за счет дырок, $E_{\text{дифракция}}$ - за счет дифракции (в случае наличия узких щелей).

В нашем случае, если пренебречь влиянием дырок, имеем систему уравнений:

$$E = E_0 \cos \theta + \Delta E_0 \cos(\theta - \frac{\pi}{2}) + E_{\beta} = E_0 (\cos \omega(t - \frac{z}{c}) + \frac{2\pi k_0 n_e e^2 \omega}{cm(\omega_0^2 - \omega^2)} \Delta z + \frac{\sin(\frac{\pi b}{\lambda} \sin \beta)}{\frac{\pi b}{\lambda} \sin \beta}), \quad (16)$$

$$\frac{\partial n_e}{\partial t} = q - \mu_e (\frac{\partial E n_e}{\partial x} + \frac{\partial E n_e}{\partial y} + \frac{\partial E n_e}{\partial z}) + D_e (\frac{\partial^2 n_e}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 n_e}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 n_e}{\partial z^2}) - b n_e, \quad (17)$$

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{4\pi k_0 e \rho}{m_e}}, \quad (18)$$

$$\rho = n_e e, \quad (19)$$

$$E_{\text{пад}} = E_0 \cos \omega(t - \frac{z}{c}), \quad (20)$$

$$\frac{I_{\beta}}{I_0} = \frac{E_{\beta}^2}{E_0^2} = \frac{\sin^2(\frac{\pi b}{\lambda} \sin \beta)}{(\frac{\pi b}{\lambda} \sin \beta)^2}, \quad (21)$$

где b – коэффициент,

Решая эту систему уравнений численными методами, при соответствующих начальных и граничных условиях, можно найти распределения n_e (в пластине) и E (в пространстве). Расчеты проводились на кластере высокопроизводительных параллельных вычислений при различных значениях начальных и граничных условиях. Так, при проведении расчетов на квадратной матрице размером 201 x 201 мкм в кубе высотой 200 мкм предполагалось, что в центре и по краям стока нет. При облучении с частотой $5 \cdot 10^{14}$ Гц (длина волны 0,6 мкм) над центральной частью пластинки генерировалось излучение с длиной волны около 40 мкм, которое по величине напряженности превосходило падающее в несколько раз (Рисунок 1).

Закключение. Построена математическая модель взаимодействия электромагнитного излучения с пластинкой, на которой нанесен рисунок определенным образом. Пластинка представляет собой тонкую кремневою, текстолитовую или сделанную из другого материала пластинку. Рисунок на пластинке нанесен методом травления и представляет собой прямоугольные канавки глубиной и шириной около 1 мкм. Пластинка облучается электромагнитным излучением, в

результате которого от пластинки в окружающее пространство распространяется излучение, которое по структуре отличается от падающего на пластинку излучения. Отличие обусловлено тем, что при моделировании учитывали зеркальное отражение, свободные электроны, образующиеся в пластинке при облучении, и дифракцию на щелях. Учет этих параметров позволил получить в окружающем пространстве распределение напряженности электрического поля, которая периодически изменяется с течением времени. Наиболее существенные изменения выявлены над центральной частью пластинки, которые в несколько раз превосходят характеристики падающего излучения. Это можно

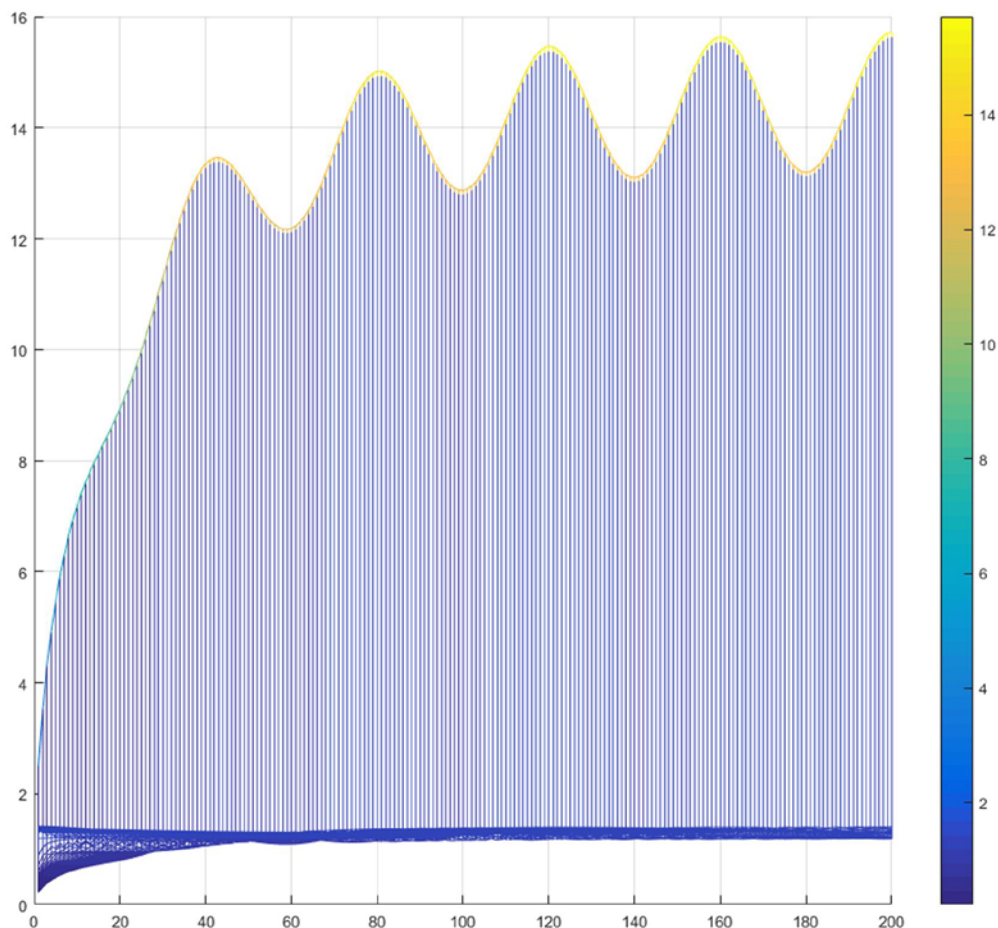


Рисунок 1. Изменение величины напряженности (В/м) над центральной частью пластинки (мкм).

объяснить тем, что рисунок на поверхности пластинки представляет собой совокупность кругов расположенных симметрично относительно центра пластинки и тем, что материал пластинки подобран таким образом, что собственная частота колебаний свободных электронов на пластинке и частота падающего излучения близки по величине. Отраженное от пластинки излучение обладает такой структурой, которая позволяет снизить вредное влияние на живые организмы электромагнитного излучения поступающего от бытовых приборов, таких как мобильные телефоны, СВЧ – печи, холодильники и др.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Серов И.Н., Лукьянов Г.Н., Копыльцов А.В. Безопасность электромагнитного излучения при его взаимодействии с самоаффинной поверхностью // Материалы IV Санкт-Петербургской межрегиональной конференции «ИБРР-2005». СПб: СПОИСУ. 14-16 июня, 2005, С.75.
2. Серов И.Н., Копыльцов А.В., Лукьянов Г.Н. Взаимодействие полупроводниковой пластины с самоаффинным рельефом поверхности с электромагнитным излучением // Нанотехника (инженерный журнал), 2006, № 4(8), С. 44-49.
3. Серов И.Н., Копыльцов А.В., Лукьянов Г.Н. Взаимодействие электромагнитного излучения с поверхностями с самоаффинным рельефом. // Белая книга «Исследования в области наночастиц, наноструктур и нанокомпозитов в Российской Федерации», М: 2006, С.165-166.
4. Серов И.Н., Копыльцов А.В., Лукьянов Г.Н. Математическое моделирование взаимодействия электромагнитного излучения с кремниевой самоаффинной поверхностью. Материалы науч.-практ. конф. «Голография ЭКСПО-2006», М: 2006.
5. Копыльцов А.В., Серов И.Н., Лукьянов Г.Н. Математическое моделирование взаимодействия электромагнитного излучения с кремниевой самоаффинной поверхностью. Вестник ИНЖЕКОНА, серия «технические науки», 2007, С.199-205.

6. Kopyltsov A., Lukyanov G., Serov I. Coherent emission of Electromagnetic Radiation from the surface of semiconductor plate with the self-affine relief // The 3rd International IEEE Scientific Conference on Physics and Control (PhysCon 2007). September, 3rd-7th, Potsdam, Germany.
7. Kopyltsov A.V., Lukyanov G.N., Serov I.N. Modelling of the interaction between electromagnetic radiation and semiconductor silicon surface having affine relief // HoloExpo-2007, Moscow, Russia. P. 143-146.
8. Короткова А.К., Коротков К.Г., Шапин А.В., Петрова Е.Н., Серов И.Н., Лукьянов Г.Н., Копыльцов А.В. Исследование кольцевых дифракционных решеток фонда «АЙРЭС» // Сознание и физическая реальность. 2009. Т. 14. № 9. С. 36-41.
9. Копыльцов А.В., Лукьянов Г.Н., Серов И.Н. Моделирование на кластере высокопроизводительных параллельных вычислений взаимодействия электромагнитного излучения с полупроводниковой пластинкой с самоаффинным рельефом. Материалы XII Санкт-Петербургской международной конференции «Региональная информатика - 2010», СПб: СПОИСУ, 2010, С.49.
10. Оппер Дж. Физика. М: Мир, 1981, т.1, 336 с., т.2. 288 с.