

Математическое моделирование взаимодействия кольцевой структурированной поверхности с высокочастотным электромагнитным излучением

И.Н. Серов¹, К.А. Коршунов¹, А.В. Копыльцов^{2,3}

¹Фонд исследований генома человека «Айрэс», Санкт-Петербург

²Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ»
им. В.И. Ульянова (Ленина)

³Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

Аннотация: Рассматривается облучение резонатора Aires электромагнитным излучением с частотой 6 ГГц. Резонатор представляет собой кремниевую пластинку с нанесенными круговыми канавками методом травления. Круговые канавки являются в сечении прямоугольными щелями шириной 0,2 мкм и глубиной 0,6 мкм. В результате облучения резонатора над его центральной частью генерируется периодическое излучение с частотами 6,85 ГГц и 5,38 ГГц. На других частотах генерируется излучение, которое не является периодическим и похоже на хаотическое излучение. Резонатор Aires можно рассматривать, как преобразователь падающего периодического облучения в другие периодические излучения. Эти периодические излучения имеют частоты, которые могут быть резонансными для некоторых молекул и частей входящих в состав клеток живых организмов.

Ключевые слова: математическое моделирование, структурированная кремниевая поверхность, высокочастотное электромагнитное излучение, резонансные частоты, живые организмы

Введение

Взаимодействию электромагнитного излучения с твердыми телами посвящено много публикаций, в которых отмечено, что в результате такого взаимодействия генерируются разнообразные электромагнитные поля, структура и напряженность которых зависит от характеристик облучения, состава и структуры облучаемого тела [1-5]. При облучении резонаторов Aires, представляющих собой кремниевую подложку толщиной 0,5 мм с круговыми канавками, нанесенными методом травления, получали различные результаты распределения напряженности электромагнитного поля [5-9]. В нашем случае за основу брали базовый элемент, изображенный на рис. 1, диаметром $D=0,925$ мм, из которого путем параллельного переноса базового элемента получали, применяя ранее описанную общую схему

построения, итоговый резонатор Aires (C20S5G) диаметром $D=7,4$ мм [5, 6]. Полученный резонатор толщиной 0,5 мм содержит 4084101 окружность различного диаметра, которые представляют собой в ортогональном сечении прямоугольные щели шириной 0,2 мкм и глубиной 0,6 мкм.

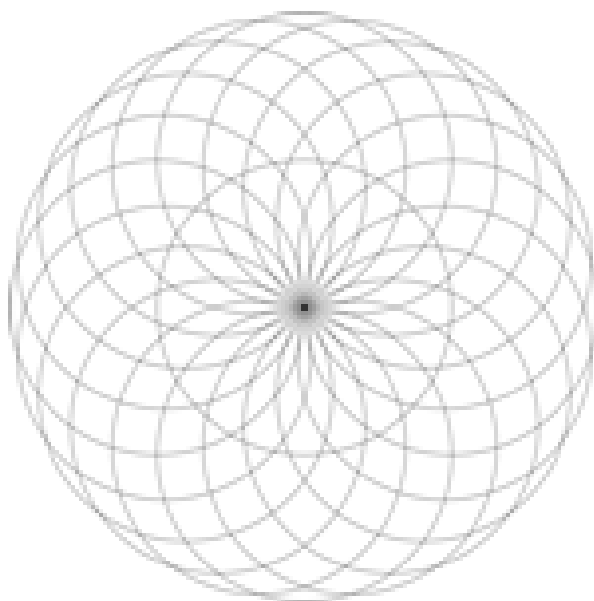


Рис. 1. - Базовый элемент диаметром $D=0,925$ мм.

Математическая модель

Предполагается, что излучение источника падает на резонатор Aires (C20S5G) равномерно со всех сторон. Таким образом, имеем источник излучения в виде полусферы радиуса R , который существенно больше диаметра резонатора. Излучение распространяется по траектории $DBCA$, изображенной на рис. 2. Точка D находится на сфере радиуса R . Точка C находится на поверхности резонатора. Точка A находится на приемнике излучения (в пространстве над резонатором) и в этой точке определяется напряженность электрического поля E . Точка C может располагаться либо в щели, либо на поверхности резонатора. Если точка C находится на поверхности, то падающее излучение в точке C отражается (угол падения

равен углу отражения). Если точка C находится в щели, то падающее излучение в точке C поглощается.

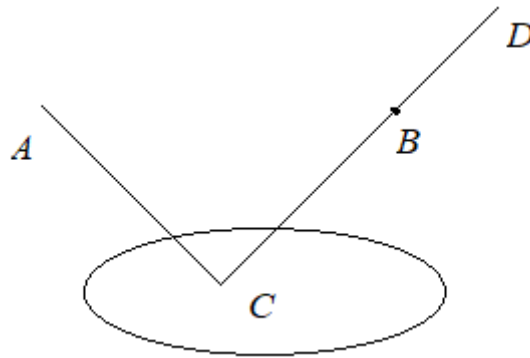


Рис. 2. - Траектория $DBCA$ падающего на резонатор излучения.

Плоская поверхность резонатора разбита на квадратные ячейки со стороной h и точка C последовательно (в цикле) обходит все узлы данной двумерной решетки. Приемник представляет собой трехмерное пространство вокруг резонатора, разбитое на кубические ячейки со стороной h и точка A последовательно (в цикле) обходит все узлы данной трехмерной решетки. В каждый момент времени t предполагаются известными координаты точек A (на приемнике) и C (на резонаторе).

Предполагаются известными напряженность падающего излучения E_0 и частота излучения ω в точке D (источник излучения). Нужно найти: напряженность E в точке A (приемник).

Если координаты точек $A(x_A, y_A, z_A)$ и $C(x_C, y_C, z_C)$ известны, то координаты точки $B(x_B, y_B, z_B)$ можно определить по формулам:

$$x_B = 2x_C - x_A, y_B = 2y_C - y_A, z_B = z_A.$$

Точка B симметрична точке A в плоскости DCA относительно нормали к плоскости резонатора в точке C .

Уравнение прямой BC :

$$\frac{x - x_C}{x_B - x_C} = \frac{y - y_C}{y_B - y_C} = \frac{z - z_C}{z_B - z_C}$$

Уравнение прямой AC :

$$\frac{x - x_C}{x_A - x_C} = \frac{y - y_C}{y_A - y_C} = \frac{z - z_C}{z_A - z_C}$$

Между точками A и C расстояние

$$L_1 = \sqrt{(x_A - x_C)^2 + (y_A - y_C)^2 + (z_A - z_C)^2}$$

Координаты вектора CA

$$x_{CA} = x_A - x_C, y_{CA} = y_A - y_C, z_{CA} = z_A - z_C.$$

Направляющие косинусы вектора CA

$$\cos(CA_x) = x_{CA}/L_1, \cos(CA_y) = y_{CA}/L_1, \cos(CA_z) = z_{CA}/L_1.$$

Уравнение сферы радиуса R с центром в (x_0, y_0, z_0) (координаты центра резонатора):

$$(x - x_0)^2 + (y - y_0)^2 + (z - z_0)^2 = R^2$$

Координаты точки $D(x_D, y_D, z_D)$ пересечения прямой BC и сферы радиуса R определяются из системы уравнений:

$$\frac{x - x_C}{x_B - x_C} = \frac{y - y_C}{y_B - y_C} = \frac{z - z_C}{z_B - z_C}$$

$$(x - x_0)^2 + (y - y_0)^2 + (z - z_0)^2 = R^2$$

Между точками C и D расстояние

$$L_2 = \sqrt{(x_D - x_C)^2 + (y_D - y_C)^2 + (z_D - z_C)^2}$$

Длина пути DCA равна

$$L = L_1 + L_2$$

Сфера радиуса R излучает монохроматические волны частотой ω с длиной волны $\lambda = \frac{2\pi V_C}{\omega}$ со скоростью света V_C .

В момент времени t в точке A напряженность электрического поля (создаваемой лучом DCA) равна

$$E = E_0 \cos\left(\omega\left(t - \frac{L}{V_C}\right)\right),$$

где E_0 – напряженность падающего излучения [10-13].

Проекции E (создаваемой лучом DCA) на оси X , Y и Z в точке A в момент времени t равны:

$$E_x = E \cos(CA_x), E_y = E \cos(CA_y), E_z = E \cos(CA_z).$$

Проекции E (создаваемой резонатором) на оси X , Y и Z в точке A в момент времени t равны сумме проекций E (создаваемых лучами DCA), где точка C пробегает по всем узлам квадратных ячеек, на которые разбит резонатор:

$$E_x^{resonator} = \sum_{resonator} E_x, E_y^{resonator} = \sum_{resonator} E_y, E_z^{resonator} = \sum_{resonator} E_z.$$

Напряженность E (создаваемая резонатором) в точке A в момент времени t равна

$$E_A^{resonator} = \sqrt{(E_x^{resonator})^2 + (E_y^{resonator})^2 + (E_z^{resonator})^2}.$$

При изменении времени с некоторым шагом Δt можно вычислить напряженность E в любой точке приемника в любой момент времени.

Результаты выводятся в виде 4-х мерных матриц (координаты точки, в которой определяется E и время):

$$E_A^{resonator}, E_x^{resonator}, E_y^{resonator}, E_z^{resonator}.$$

Для учета дифракции используется формула:

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

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 [10-13].

Поскольку интенсивность волны пропорциональна квадрату амплитуды, то

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

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

Таким образом, в итоге в общем виде имеем вектор E :

$$E = E_{otr} + E_{difr},$$

где E_{otr} - за счет отражения, E_{difr} - за счет дифракции (в случае наличия узких щелей).

Параметры расчетов

1. Топологическая схема резонатора Aires рассматривается как самоаффинная кольцевая дифракционная решетка, выполненная в виде щелей с размерами: 0,2 мкм (ширина) и 0,6 мкм (глубина).
2. Размеры резонатора: 7,6 мм (длина), 7,6 мм (ширина), 0,5мм (толщина).

3. Резонатор взаимодействует с исходящим от Wi-Fi-источника (роутера) излучением в виде полусферы большого диаметра (диаметр сферы больше размеров пластинки). Расстояние от источника до центра резонатора 10 м.
4. Поверхность резонатора отражает излучение (поглощение не рассматривается), а щели – поглощают (отражение в щелях не рассматривается).
5. Параметры падающего излучения: напряженность $E_0=10$ В/м (данные производителя), частота $\omega = 6$ ГГц.
6. Поверхность резонатора разбита на квадратные ячейки с шагом $h=24$ мкм.
7. Результирующее излучение рассчитывается в пространстве над резонатором, разбитым на кубические ячейки с шагом h .
7. Время взаимодействия электромагнитного излучения с резонатором $t = 1$ с.

Результаты и их обсуждение

Расчеты проведенные на компьютере показали что при выбранных параметрах зависимость $E(t)$ имеет довольно сложную структуру изменяющуюся во времени. В частности, напряженность электрического поля E над центральной частью резонатора на расстоянии 24 мкм от резонатора изменяется таким образом, как изображено на рис. 3 и рис.4. Из рисунков 3 и 4 видно, что напряженность E изменяется периодически с частотами $\nu_1=6,85$ ГГц и $\nu_2=5,38$ ГГц, т.е. на этих частотах резонатор излучает периодические сигналы. На других частотах в диапазонах с шагом по времени $\Delta t = 10^{-10}$ с $\div 10^{-2}$ с и $\Delta t = 10^{-18}$ с $\div 10^{-13}$ с напряженность E изменяется не периодически, а хаотическим образом.

Таким образом, падающее на резонатор Aires (C20S5G) периодическое излучение, поступающее от Wi-Fi-роутера, на некоторых частотах генерирует устойчивое периодическое излучение, а на других частотах такие периодические излучения отсутствуют. Это позволяет резонатор Aires (C20S5G) рассматривать как преобразователь частот излучения.

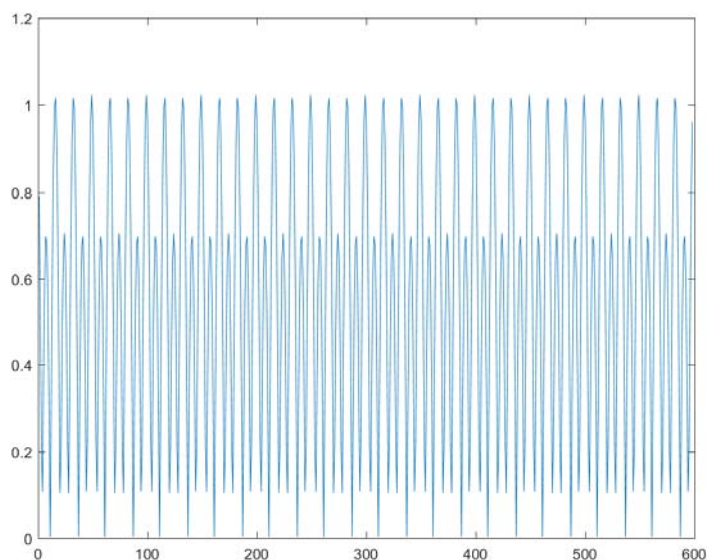


Рис. 3. - Зависимость напряженности E (В/м) (ось ординат) от времени t (ось абсцисс), шаг по времени $\Delta t=10^{-11}$ с.

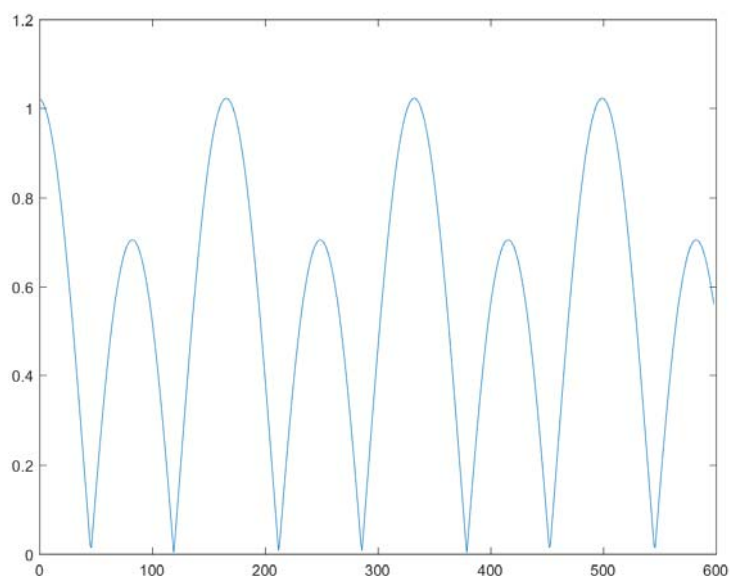


Рис. 4. - Зависимость напряженности E (В/м) (ось ординат) от времени t (ось абсцисс), шаг по времени $\Delta t=10^{-12}$ с.

Поскольку известно, что разные органеллы живых клеток чувствительны к различным частотам облучения [14], то варьируя глубину и

ширину щелей на резонаторе, размер резонатора и другие параметры, можно получить конкретные частоты, к которым чувствительны те или иные органеллы живых клеток. Это позволит целенаправленно воздействовать на клетки живого организма.

Заключение

При облучении резонатора Aires (C20S5G) электромагнитным излучением с частотой 6 ГГц генерируются периодические излучения от резонатора с частотами 6,85 ГГц и 5,38 ГГц. На других частотах генерируется излучение, которое не является периодическим. Таким образом, резонатор Aires (C20S5G) можно рассматривать, как преобразователь падающего периодического облучения в другие периодические излучения, с частотами, которые могут являться резонансными для различных органелл клеток живых организмов.

Литература

1. Копыльцов А.В., Коршунов К.А., Лукьянов Г. Н., Серов И.Н. Распределенные вычисления взаимодействия электромагнитного излучения со структурированной поверхностью // Региональная информатика и информационная безопасность. Сборник научных трудов. Выпуск 2. СПб: СПОИСУ. 2016. С. 383-387

2. Копыльцов А.В. Математическое моделирование защиты от электромагнитного излучения с помощью резонаторов // В сборнике: Региональная информатика и информационная безопасность. Сборник научных трудов. СПб: СПОИСУ. 2017. № 3. С. 235-239.

3. 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, pp. 87-91.

4. 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), Potsdam, Germany, pp. 63-67.

5. 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.

6. 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.

7. Копыльцов А.А., Копыльцов А.В. Модели и алгоритмы слабо формализованных объектов и процессов. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2016. 163 с.

8. Копыльцов А.А. Применение обобщенного алгоритма обработки слабоформализованной информации для оценивания и повышения производительности труда программистов // Инженерный вестник Дона, 2017, №4 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2017/4467

9. Копыльцов А.А. Применение обобщенного алгоритма обработки слабо формализованной информации для управления неравновесной химической реакцией // Инженерный вестник Дона, 2015, №1, ч.2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1p2y2015/2812

10. Голубев А.А., Игнатьев В.К. Измерение тензорных величин магнитного поля в микроструктурном анализе ферромагнитных материалов // Инженерный вестник Дона, 2011, №3 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2011/473

11. Yee K.S. Numerical solution of initial boundary value problems involving Maxwell's equations in isotropic media // IEEE Trans. Antennas Propagat. 1966. V. 14. № 4, pp.302-307.

12. Weiland T. A discretization method for the solution of Maxwell's equations for six-component fields // Electronics and Communications AEEU. 1977. Vol.31, №3. pp.116–120.

13. Orear J. Physics. New York: Macmillan Publ. 1979. 624 p.

14. Дюжикова Н.А., Копыльцов А.В., Коршунов К.А., Лукьянов Г.Н., Пучкова В.А., Серов И.Н. Действие электромагнитного излучения высокой частоты и влияние резонаторов-преобразователей на частоту хромосомных aberrаций в клетках костного мозга самцов крыс линии Вистар // Электромагнитные волны и электронные системы. 2018. Т.23. № 1. С.12-18.

References

1. Kopyltsov A.V., Korshunov K.A., Lukyanov G.N., Serov I.N. Regional'naya informatika i informatsionnaya bezopasnost'. Sbornik nauchnykh trudov (Rus). № 2. SPb: SPOISU. 2016. pp. 383-387.

2. Kopyltsov A.V. Regional'naya informatika i informatsionnaya bezopasnost'. Sbornik nauchnykh trudov (Rus). SPb: SPOISU. 2017. № 3. pp. 235-239.

3. Kopyltsov A.V., Lukyanov G.N., Serov I.N. HoloExpo-2007, Moscow, Russia, pp. 87-91.

4. Kopyltsov A., Lukyanov G., Serov I. The 3rd International IEEE Scientific Conference on Physics and Control (PhysCon 2007), Potsdam, Germany, pp. 63-67.

5. Serov I.N., Kopyl'tsov A.V., Luk'yanov G.N. Nanotekhnika (inzhenernyy zhurnal) (Rus), 2006. № 4(8). pp. 44-49.

6. Kopyl'tsov A.V., Serov I.N., Luk'yanov G.N. Vestnik INZHEKONA, seriya «tekhnicheskiye nauki» (Rus), 2007. pp. 199-205.



7. Kopyl'tsov A.A., Kopyl'tsov A.V. Modeli i algoritmy slabo formalizovannykh ob'yektov i protsessov [Models and algorithms of weakly formalized objects and processes] (Rus). SPb: LETI, 2016. 163 p.
8. Kopyl'tsov A.A. Inzhenernyj vestnik Dona (Rus), 2017, №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2017/4467
9. Kopyl'tsov A.A. Inzhenernyj vestnik Dona (Rus), 2015, №1, p.2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1p2y2015/2812
10. Голубев А.А., Игнатъев В.К. Inzhenernyj vestnik Dona (Rus), 2011, №3. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2011/473
11. Yee K.S. IEEE Trans. Antennas Propagat. 1966. V. 14. № 4, pp. 302-307.
12. Weiland T. Electronics and Communications AEEU. 1977. Vol.31, №3. pp. 116–120.
13. Orear J. Physics. New York: Macmillan Publ. 1979. 624 p.
14. Dyuzhikova N.A., Kopyl'tsov A.V., Korshunov K.A., Luk'yanov G.N., Puchkova V.A., Serov I.N. Elektromagnitnyye volny i elektronnyye sistemy (Rus). 2018. T. 23. № 1. pp. 12-18.