

на 10%. При инициализации системы можно задать количество итераций в секунду, что позволяет варьировать точность визуализации, а так же произвольный промежуток времени, что позволяет рассмотреть только интересующий временной отрезок. При этом итерации будут происходить только с выбранного промежутка времени, но следует заметить, что отсчёт времени всё равно будет производиться с нуля. На рисунке 2 изображена визуализация с увеличенной точностью.

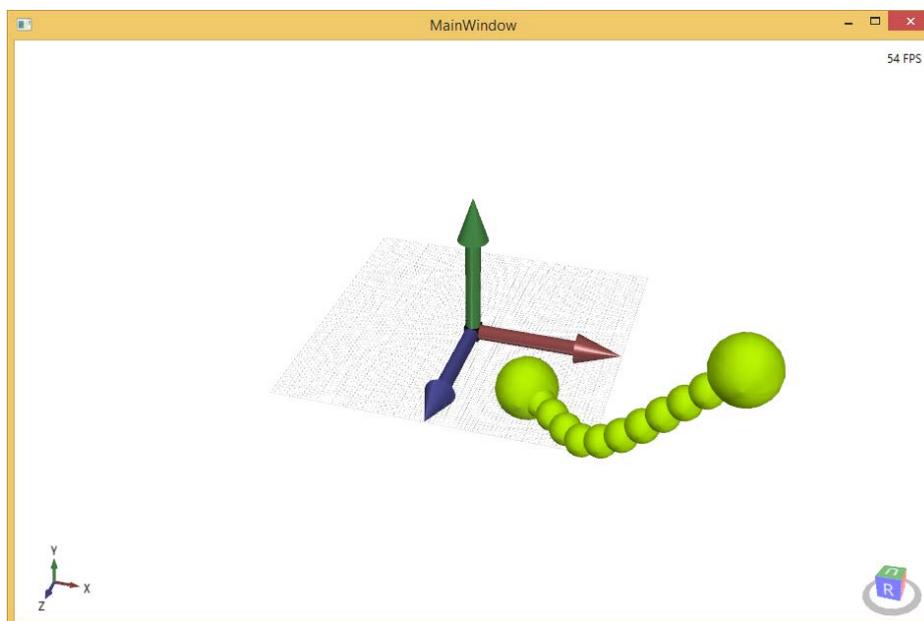


Рисунок 2 – Визуализация движения точки с увеличенной точностью

Помимо этого, можно изолировать систему, выбрав её как базисную, что позволит визуализировать движение относительно выбранной системы. При этом родительские системы для выбранной системы в процессе расчёта обрабатываться не будут.

Литература

- 1 Тарг, С. М. Краткий курс теоретической механики / С. М. Тарг. – М.: Высшая школа, 1995. – 416с.
- 2 Голубев, Ю. Ф. Основы теоретической механики / Ю. Ф. Голубев. – М.: МГУ, 2000. – 720с.
- 3 Зоммерфельд, А. И. Механика. / А. И. Зоммерфельд. – Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2001. – 368 с.

УДК 621.396

К. А. Малиновская

ВОЛНОВОДНАЯ ТЕОРИЯ ГИРАЦИИ

В настоящее время существенное развитие получило направление, связанное с переносом результатов моделирования распространения электромагнитных волн СВЧ диапазона в оптический диапазон и наоборот. Подобный процесс, с одной стороны, позволяет уяснить механизм взаимодействия света со средами, обладающими

определенными особенностями структуры, путем перехода от феноменологических моделей к микроскопическим, а с другой стороны позволяет определить подходы к созданию метасред, обладающих вполне определенными свойствами, отличными от свойств реальных природных структур. Ведутся работы по моделированию в гигагерцовом диапазоне на основе спиральных элементов и омега - структур искусственных анизотропных сред, обладающих выраженной киральностью. Исследуется преобразование поляризационных характеристик электромагнитных волн в подобных средах. В настоящей работе проведено теоретическое рассмотрение возможности создания искусственных гиротропных сред с заданными параметрами на основе металлических и металло- диэлектрических структур в СВЧ диапазоне длин волн.

Сущность подхода заключается в следующем. Известно, что если между скрещенными поляризатором и анализатором поместить еще один поляризатор, ориентированный отлично от каждого из первой пары, то такая система будет пропускать волну, несмотря на то, что начальный и конечный элементы скрещены. Такая система уже может рассматриваться, как устройство для поворота поляризации на девяносто градусов. Как известно, для технических целей больший поворот не нужен. Естественно, как нетрудно посчитать, коэффициент передачи такой системы по амплитуде в лучшем случае симметричного расположения составляет 50 % (без учета потерь на отражение), однако система может быть дополнена, при этом коэффициент передачи возрастает. Так, уже при двух симметрично расположенных промежуточных поляризаторах коэффициент передачи возрастает до 65 %, при трех – до 79 % и т.д. Как нетрудно показать, в пределе при числе промежуточных элементов, стремящемся к бесконечности, коэффициент передачи как по амплитуде, так и по мощности стремится к единице. Естественно, результат является сугубо прикидочным без учета поглощения и переотражения в структуре, но, тем не менее, позволяет судить о возможности подобного подхода к моделированию гиротропной среды в СВЧ диапазоне, где поляризующее устройство может быть легко реализовано путем применения проводящих структур.

В качестве поляризатора в СВЧ диапазоне длин волн может быть использована среда с выраженной анизотропией проводимости либо ее модель, простейшей из которых представляется решетка из прямолинейных элементов, расстояние между которыми существенно меньше половины длины волны. В этом случае волна поперечной поляризации экспоненциально затухает, причем показатель экспоненты определяется, как толщиной структуры, так и расстоянием между элементами. В идеале, при расстоянии между элементами равном нулю, волна окажется полностью поляризованной при нулевой толщине структуры, которая будет представлять собой планарный поляризатор. Такое представление позволяет рассмотреть модель гиротропной среды типа холестерического кристаллы, в котором каждый отдельный слой мы будем представлять, как идеальный поляризатор, а гиротропию – как поворот каждого последующего слоя на некоторый, малый в общем случае, постоянный угол. Структура обладает локальной (в пределах слоя) анизотропией и гиротропией в направлении нормали. Элементарной ячейкой структуры является пара соседних слоев, расположенных параллельно друг другу на некотором расстоянии, в общем случае, не связанном с длиной волны и развернутых на некоторый угол, меньший 90 градусов [1]. Рассмотрим прохождение волны с поляризацией, соответствующей входному слою, и отражение от нее с учетом переотражений внутри ячейки. При учете потери полуволны при отражении от металлической поверхности для эффективных коэффициентов передачи и отражения можно получить соответственно:

$$\Theta_{\pm\phi} = \frac{-2i \cos \alpha \sin \phi e^{i2\phi}}{1 - \cos^2 \alpha e^{i2\phi}} = 2iA \cos \alpha \sin \phi, \quad (1)$$

$$\Gamma_{\pm\varphi} = -\frac{\sin^2 \alpha e^{i\varphi}}{1 - \cos^2 \alpha e^{i2\varphi}} = A \sin^2 \alpha, \quad (2)$$

где α - угол относительного разворота слоев, а φ – фазовый набег при прохождении электромагнитной волны между слоями структуры.

$$A = -\frac{e^{i\varphi}}{1 - \cos^2 \alpha e^{i2\varphi}}. \quad (3)$$

Интерес представляет соответствие модели крайним случаям. Если слои не развернуты, то структура должна быть полностью прозрачной. Действительно, если $\alpha = 0$, то

$$A = \frac{e^{i\varphi}}{2i \sin \varphi}, \quad (4)$$

И $\Theta_{\pm\varphi} = e^{i\varphi}$. При совмещении слоев ($\varphi = 0$) $\Theta_{\pm\varphi} = 1$, $\Gamma_{\pm\varphi} = 0$, что и следовало ожидать. В другом крайнем случае при $\alpha = \frac{\pi}{2}$, структура должна быть полностью отражающей. Действительно, при этом

$$A = -e^{i2\varphi}, \quad (5)$$

и $\Theta_{\pm\varphi} = 0$, $\Gamma_{\pm\varphi} = -e^{i2\varphi}$.

При совмещении обоих слоев ($\varphi = 0$) структура должна вести себя, как сплошная металлическая поверхность при любом отличном от нуля $\alpha \neq 0$. Это обусловлено нашим предположением об идеальности поляризатора. Так-как последний представляет собой решетку с бесконечно малым шагом, то при пересечении двух таких решеток под любым отличным от нуля углом образуется ячеистая структура с бесконечно малым размером ячейки в любом направлении, что соответствует бесконечно быстрому затуханию волны любой поляризации. В то же время в силу требования сохранения энергии волны коэффициент отражения должен быть равным единице. Действительно, при осуществлении предельного перехода мы получаем $\Gamma_{\pm\varphi} = -1$ и $\Theta_{\pm\varphi} = 0$, что как раз и соответствует отмеченным особенностям. Следует отметить, что создание идеального поляризатора типа описанной структуры не представляется возможным. Поляризатор, созданный из конечного числа макроскопических элементов будет иметь конечный размер расстояния между отдельными элементами. При совмещении поляризаторов будет образовываться ячеистая структура, максимальный (диагональный) размер которой будет зависеть от расстояния между дискретными элементами и угла их разворота. Структура будет пропускать без ослабления волны тех поляризаций, для которых будет выполняться условие превышения размера сечения элементарной ячейки половины длины волны. Для остальных поляризаций при распространении в среде амплитуда будет затухать по экспоненте. В критическом случае, когда размер большой диагонали ромба будет равен половине длины волны, такую искусственную среду можно рассматривать, как совокупность скрученных одномодовых волноводов, а сам процесс вращения плоскости поляризации – как распространение волны в таком волноводе. Таким образом, описываемый механизм гирации можно рассматривать, как волноводный.

Рассмотрим прохождение волны через совокупность слоев и отражение от нее. Для этого получим рекуррентные формулы для прохождения через структуру, содержащую $n+1$ слоев, в приближении, что известны эффективные коэффициенты для структуры из n слоев. В этом случае, проводя процедуру, аналогичную проделанной выше при

определении эффективных коэффициентов в случае двух слоев, заменяя параметры одного из слоев на эффективные, можно получить

$$\Gamma_{n+1} = \Gamma_n + \frac{\Theta_n^2 \Gamma_{z\phi}}{1 - \Gamma_n \Gamma_{z\phi}}, \quad (6)$$

$$\Theta_{n+1} = \frac{\Theta_n \Theta_{z\phi}}{1 - \Gamma_n \Gamma_{z\phi}}. \quad (7)$$

Очевидно, что коэффициент передачи является симметричным относительно замена порядка добавления очередного слоя к структуре. Аналогичное требование должно быть применено и к эффективному коэффициенту отражения, что приводит к соотношению:

$$\Gamma_n + \frac{\Theta_n^2 \Gamma_{z\phi}}{1 - \Gamma_n \Gamma_{z\phi}} = \Gamma_{z\phi} + \frac{\Theta_n^2 \Gamma_n}{1 - \Gamma_n \Gamma_{z\phi}}. \quad (8)$$

При обращении любого из коэффициентов отражения в ноль, среда будет полностью прозрачной. Использование реальным материалов при создании модели предполагает наличие поглощения ввиду конечности значения проводимости. В этом случае выражения для коэффициентов претерпевают некоторые изменения. С учетом сказанного

$$A = -\frac{e^{i\alpha\phi}}{1 - \Gamma^2 \cos^2 \alpha e^{i2\phi}}, \quad (9)$$

где Γ -модуль коэффициента ослабления. Тогда $\Gamma_{z\phi} = \Gamma \sin^2 \alpha A$ и $\Theta_{z\phi} = 2i \cos \alpha \sin \phi A$.

Интерес представляют структуры с числом элементов, стремящимся к бесконечности, и соответственно с α и ϕ , стремящимися к нулю, т. е. – модель сплошной гиротропной среды. В этом случае логичным будет предположение о том, что добавление следующего слоя при большом их числе будет приводить к малым изменениям как коэффициента передачи, так и коэффициента отражения.

$$\Gamma_{n+1} \sim \Gamma_n.$$

Тогда из выражений (6) и (7) с учетом (1) и (2) для коэффициента отражения можно получить после некоторых преобразований приближенное выражение:

$$\Gamma_n = -1 + 2 \left(\frac{\sin \phi}{\sin \alpha} \right)^2 + 4i \left(\frac{\sin \phi}{\sin \alpha} \right) \frac{\sin \frac{\alpha+\phi}{2} \sin \frac{\alpha-\phi}{2}}{\sin \alpha}. \quad (10)$$

При отмеченных условиях $\phi, \alpha \rightarrow 0$ (10) может быть представлено в более простом виде

$$\Gamma_n \approx -1 + 2 \left(\frac{\phi}{\alpha} \right)^2 + i(\phi - \phi \left(\frac{\phi}{\alpha} \right)^2) = -1 + 2X^2 + i\phi(1 - X^2), \quad (11)$$

Где $X = \frac{\phi}{\alpha}$.

Поскольку $\phi = \frac{k l}{N}$ (k – волновое число а l – общая толщина структуры), а $\alpha = \frac{\phi}{N}$, то $X = \frac{2\pi}{\xi}$, где ξ -угол поворота на пути, равном одной длине волны. Здесь N – общее число

элементов структуры, Φ – результирующий угол поворота поляризации. Коэффициент отражения имеет комплексный вид

$$\Gamma_n^+ = |\Gamma_n| e^{i\psi} = 1 - 2\xi^2 + i\varphi(1 - \xi^2), \quad (12)$$

Причем:

$$\tan \psi = \frac{\varphi(1 - \xi^2)}{1 - 2\xi^2} \quad (13)$$

При выполнении условия $\varphi = \pm \frac{4\xi^2}{1 - \xi^2}$ происходит отражение волны. Поскольку полной прозрачности отвечает одновременное обращение в ноль как действительной, так и мнимой части выражения (12), что невозможно при φ , отличном от нуля, то коэффициент отражения никогда не обращается в ноль, и структура обладает ограниченным пропусканием.

Литература

1. Семченко, И. В. Преобразование поляризации электромагнитных волн при помощи спиральных излучателей / И. В. Семченко, С. А. Хахомов, А. Л. Самофалов // Радиотехника и электроника. – 2007. – Т. 52. – № 8. – С. 1–6.

УДК 546.28

Е. А. Мельникова

СУСПЕНЗИИ СПС-8 И СПС-55 ДЛЯ ХИМИКО-МЕХАНИЧЕСКОЙ ПОЛИРОВКИ ПЛАСТИН МОНОКРИСТАЛЛИЧЕСКОГО КРЕМНИЯ

В статье описывается методика приготовления высокоэффективных полирующих суспензий на основе наноразмерных порошков SiO_2 для химико-механического полирования пластин монокристаллического кремния, результаты исследований полирующих свойств суспензий СПС-8 и СПС-55 и их сравнение с коммерческими зольми Nalko 2358 и Nalko 2360 (США), а также приводятся АСМ изображения поверхности пластин кремния после I и II стадий химико-механического полирования полученными суспензиями.

Быстрый рост производства интегральных схем и полупроводниковых приборов, требует улучшения качества различных специфических материалов для электронной техники, а также выпуска материалов, отвечающим более высоким технологическим требованиям. В настоящее время большинство полупроводниковых приборов изготавливают на основе пластин монокристаллического кремния, качество поверхности которых определяется микрорельефом (нанометровой шероховатостью), кристаллическим совершенством поверхностных слоев, степенью их физико-химической чистоты и химическими (адсорбционными) примесями. С целью улучшения качества поверхности пластин кремния, разрабатываются всё более совершенные методы обработки. Из наиболее перспективных можно выделить метод химико-механического полирования суспензиями на основе наноразмерного диоксида кремния.

В настоящее время разработкой и производством полирующих суспензий для ХМП изделий оптики и электроники занимаются ведущие зарубежные фирмы, такие как,