

вполне приемлемой для большинства лабораторных задач точности измерений.

Список использованных источников

1. Амброжевич А. В. Практикум по диагностике фотоэлектрических модулей / А. В. Амброжевич. — М.: Издательство МЭИ, 2021. — 85 с.

Нишант Трипати, PhD, доцент каф. наноинженерии, tripati.n@ssau.ru

Дарья Александровна Шишкина, к.физ.-мат.н., доцент каф. наноинженерии, shishkina.da@ssau.ru

Ахмедов Умед, студ. гр. 6231-030401D, каф. наноинженерии, umed933712@gmail.com

УДК 535

ОЦЕНКА ОПТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК КВАЗИПЕРИОДИЧЕСКИХ СУБВОЛНОВЫХ АНТИОТРАЖАЮЩИХ СТРУКТУР ТЕРАГЕРЦОВОГО ДИАПАЗОНА

С.С. Ермаков

«Самарский национальный исследовательский университет имени
академика С.П. Королёва», г. Самара

Ключевые слова: антиотражающие структуры, теория эффективных сред, статистическое моделирование, FDTD-моделирование.

Использование периодических субволновых антиотражающих микрорельефов является одним из наиболее эффективных способов снижения френелевских потерь на границе раздела сред при работе с высокоомощными источниками излучения терагерцового диапазона [1]. В отличие от традиционных тонкоплёночных покрытий, антиотражающие структуры обладают существенно большей термостойкостью и способны обеспечивать широкополосное подавление отражений [2].

Ряд задач современной терагерцовой оптики, таких как разработка сферических или асферических линз [3], требует создания оптических элементов с высоким пропусканием в широком спектральном и угловом диапазонах. В этих условиях многие авторы [4,5] рекомендуют переходить к случайным или квазипериодическим антиотражающим микрорельефам. В работах [6,7] показано, что квазипериодические профили демонстрируют заметно большую стабильность оптических характеристик при изменении угла падения излучения по сравнению с периодическими структурами.

Несмотря на очевидные преимущества случайных рельефов в ряде задач, область их применения на данный момент ограничена. Главной причиной этого является трудность оценки оптических характеристик рельефа до момента изготовления. Большинство существующих подходов основано на прямом FDTD или RCWA моделировании большого ансамбля реализаций микрорельефа, что требует значительных вычислительных

ресурсов [8]. Другим распространённым подходом является реконструкция параметров реального рельефа (например, алгоритмом Любачевского – Стилинжера [6]) по данным сканирующей микроскопии с последующей оценкой оптических характеристик через теорию эффективных сред или FDTD, что требует наличия реализованного микрорельефа.

В данной работе представлен новый метод для оценки оптических характеристик квазипериодических антиотражающих микрорельефов. В основе подхода лежит аналитический расчёт с использованием теории эффективных сред второго порядка в сочетании с методом матриц переноса, что позволяет прогнозировать спектральные и угловые характеристики многоуровневых структур. Квазипериодичность реализуется через статистическое моделирование методом Монте – Карло, обеспечивающего учёт вариаций геометрических параметров рельефа.

Сравнение описанного метода с результатами FDTD-моделирования квазипериодических рельефов показало, что, для случая бинарных структур, предложенный подход демонстрирует относительное отклонение менее 1% по среднему пропусканию, при этом с высокой точностью воспроизводя форму спектральной характеристики микрорельефа. Таким образом, при сопоставимой точности предложенный метод обеспечивает выигрыш в вычислительных затратах на 4-5 порядков по сравнению с двумерным FDTD-моделированием схожего ансамбля реализаций микрорельефа.

В рамках доклада представлено сравнение результатов применения описанного метода с FDTD-моделированием для бинарных и четырёхуровневых квазипериодических субволновых антиотражающих структур в угловом диапазоне от 0° до 65° при различных типах поляризации падающего излучения.

Список использованных источников

1. Yu, X. Femtosecond-laser-fabricated periodic tapered structures on a silicon substrate for terahertz antireflection / X. Yu, M. Ohta, N. Takizawa [and others] // *Applied Optics*. – 2019. – vol. 58. – № 35. – pp. 9595-9602.
2. Busse, L.E. Review of antireflective surface structures on laser optics and windows / L.E. Busse, J.A. Frantz, B. Shaw [and others] // *Applied Optics*. – 2015. – vol. 54. – № 31. – pp. 303-310.
3. Brahm, A. Laser-generated broadband antireflection structures for freeform silicon lenses at terahertz frequencies / A. Brahm, S. Döring, A. Wilms [and others] // *Applied Optics*. – 2014. – vol 53. – № 13. – pp. 2886-2891.
4. Busse, L.E. Antireflective surface structures on optics for high energy lasers / L.E. Busse, C.M. Florea, L.B. Shaw [and others] // *Proceedings SPIE 8959, Solid State Lasers XXIII: Technology and Devices*. – 2014. – 89591L.
5. Gadamssetti, P. Numerical study of feature-distribution effects for anti-reflection structured surfaces on binary gratings / P. Gadamssetti, M.K. Poutous // *Applied Optics*. – 2023. – vol. 62. – № 13. – pp. 3398-3408.
6. Zhao, J. Scattering analysis for random antireflective structures on fused silica in the ultraviolet / J. Zhao, H. Qi, H. Wang [and others] // *Optics Letters*. – 2015. – vol. 40. – № 22. – pp. 5168-5171.

7. Pinto, C.L. Parametric analysis of random subwavelength structures with anti-reflective properties on glass applied to photovoltaics / C.L. Pinto, I. Cornago, A.B. Jimenez [and others] // Solar Energy Materials. – 2022. – vol. 236 (C). – pp. 1-16.

8. Feigenbaum, E. Optical modeling of random anti-reflective meta-surfaces for laser systems applications / Applied Optics. – 2019. – vol. 58. – № 27. – pp. 7558-7565.

Ермаков Сергей Сергеевич, аспирант каф. нанотехнологий, ermakov_ss@inbox.ru.