

Оптические сингулярности и предельная разрешающая способность суперлинзы*

Б.Б. Авербух¹, И.Б. Авербух¹

¹Тихоокеанский государственный университет, г. Хабаровск, Россия

В модели молекулярной оптики рассмотрена интерференция распространяющихся и усиленных эванесцентных волн в ближнем поле суперлинзы. Получена связь характеристик электромагнитного поля в получающейся интерференционной картине с предельной разрешающей способностью суперлинзы, обусловленной эванесцентными волнами.

Ключевые слова: молекулярная оптика, метаматериал, суперлинза, разрешающая способность, эванесцентные и распространяющиеся волны, интерференционная картина, точки сингулярности седло и поперечный вихрь.

Введение

Распространение поляризованного монохроматического электромагнитного излучения – это волновое явление, характеризующееся комплексной амплитудой поля. При интерференции нескольких волн возникающая интерференционная картина неоднородна (есть максимумы, минимумы...). Эта неоднородность проявляется, в частности, в появлении оптических сингулярностей, т.е. точек или линий, где комплексная амплитуда результирующего поля равна нулю. Исследованию таких сингулярностей посвящено много работ (например, в [1, 2] рассматривалась интерференция плоских волн, а в [3, 4] – гауссовых лучей). Различные типы сингулярностей рассматривались в [5], а с точки зрения динамических систем – в [6].

В настоящей работе исследуется появление оптических сингулярностей в случае суперлинзы. Ранее в работах [7, 8] численными расчетами было показано, что интерференция бегущих и эванесцентных волн может приводить к возникновению оптических вихрей в ближней зоне суперлинзы. Расчеты базировались на макроскопическом описании процесса. Решалась граничная задача о распространении электромагнитного ТМ излучения через плоскопараллельный слой среды с отрицательным преломлением. Решение задачи Френеля основывалось на уравнениях Максвелла. Задавались выражения для отраженной волны, волн в слое и волны, прошедшей слой. Далее определялась функция пропускания слоя. Среда описывалась макроскопически и характеризовалась эффективными значениями диэлектрической ϵ и магнитной μ проницаемостей. Анализировались функция пропускания такого слоя и вектор Пойнтинга прошедшего слой излучения. Аналогичные результаты были получены в работе [9].

В [10] численными расчетами было показано появление обратного потока энергии в ближнем поле за линзой. Объяснялось это конечными размерами линзы. В работе [11] в результате численных расчетов возникновение оптических вихрей в ближней зоне суперлинзы было связано с появлением устойчивой системы точек сингулярности седло – вихри – седло в слое и за ним. Седловые точки объяснили, в частности, появление отрицательного потока энергии в некоторых областях пространства около этих точек.

Но использование эффективных параметров в уравнениях Максвелла и применение численных методов не раскрывают механизм взаимодействия электромагнитного излучения со средой и формирования отраженной и преломленной электромагнитных волн. Для этого нужен микроскопический подход. Поэтому в данной работе, основываясь на результатах работ [12, 13], в модели молекулярной оптики рассмотрено формирование оптических сингулярностей в ближней зоне суперлинзы. В работе [12] рассматривалось распространение электромагнитного излучения через плоскопараллельный слой метаматериала с отрицательным преломлением. В такой среде возможно существование обратных волн и в [12] был обоснован выход этих волн за пределы слоя (при макроскопическом описании это явление отсутствует [14]). При определенных условиях такой

* Работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ, дополнительное соглашение от 1 июня 2021 г. № 075-02-2021-1389, дополнительное соглашение с Минобрнауки России от 4 февраля 2022 г. № 075-02-2022-879. Соглашение от 16.02.2023 г. № 075-02-2023-932. Соглашение от «28» февраля 2024 г. № 075-02-2024-1432.