

Исследование аномальных оптических явлений в дискретных оптических волноводных структурах

Е.А. Колосовский, И.С. Стрыгин, А.В. Царев

Лаборатория оптических материалов и структур ИФП СО РАН
Новосибирский Государственный Университет

Численно исследовано методами FDTD и MoL особенности проявления эффекта «аномального заграждения» для сегментной периодической структуры, расположенной над КНИ-волноводом. Показано, что данная структура имеет высокую чувствительность к изменению показателя преломления окружающей среды. Показано, что для корректного расчета ее оптических свойств методом 2d FDTD необходимо учитывать волноводную дисперсию.

Рассмотрены особенности проявления, обнаруженного нами ранее, эффекта «аномального заграждения» для различной формы и величин показателя преломления (контраста) сегментной периодической структуры над волноводами в структуре кремний на изоляторе (КНИ), а также слабого возмущении показателя преломления окружающей среды (вода). Показано [1, 2], что такие структуры обладают высокой чувствительностью $S_n = \partial\lambda/\partial n$ длины волны аномального заграждения к изменению показателя преломления окружающего пространства и могут использоваться в качестве оптических сенсоров. Численное моделирование таких структур выполнено с применением метода конечных разностей во временной области (FDTD), с использованием коммерческого программного пакета RSoft-SYNOPSYS. Из-за большого размера области вычислений, такого рода задачи обычно исследуются в рамках двумерного (2d) приближения с помощью метода эффективного показателя преломления (EIM). Было показано, что наличие волноводной дисперсии приводит к тому, что прямое применение 2d FDTD дает завышенные на 40% величины S_n (см. Фиг.1), что казалось бы делает расчеты с использованием 2d FDTD непригодными для точного анализа таких структур.

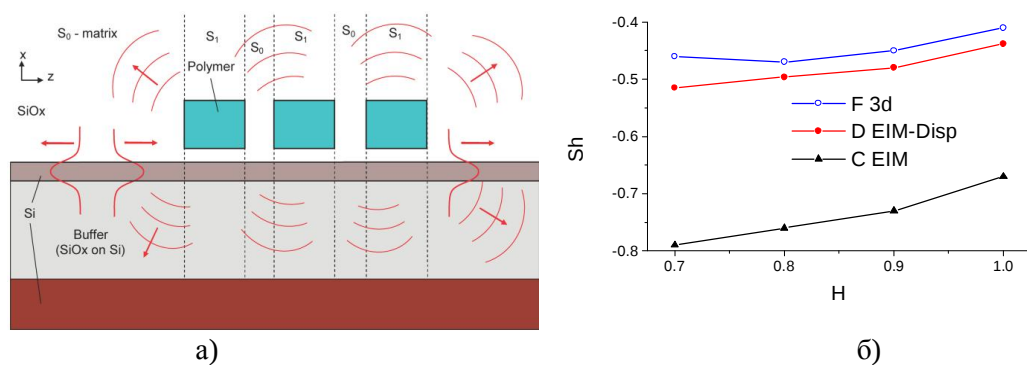


Рис.1. Аномальное заграждение для сегментной периодической структуры над волноводами в структуре КНИ. а) Общий вид структуры; б) Зависимость крутизны $S_n = \partial\lambda/\partial n$ изменения длины волны аномального заграждения от показателя преломления окружающей среды (вода). Расчет методом FDTD для трехмерного (3D) и двумерного моделирования с применением стандартного метода EIM и с применением алгоритма компенсации дисперсии (EIM-Disp). Моделирование выполнено для периодической сегментной структуры на основе полимера CY-8 с показателем преломления 1.56, периодом 1.3 мкм, толщиной и шириной 1 мкм, отделенной с помощью окисла с показателем преломления 1.4 буферным слоем толщиной 0.1 мкм от стандартного кремниевого волновода толщиной 0.25 мкм и шириной 045 мкм на заглубленном окисле толщиной 2 мкм.

Нами найдено оригинальное решение данной проблемы. Наличие волноводной дисперсии приводит к тому, что найденные в ходе двумерного FDTD моделирования длины волн аномального заграждения λ_m зависят от длины волны λ_0 , на которой проводится импульсное возбуждение и анализ спектра прохождения волноводной структуры. Однако, для случая $\lambda_m = \lambda_0$ данная величина точно равняется искомому значению. Поэтому, построив зависимость λ_0 от разницы $\lambda_0 - \lambda_m$ (см. Фиг.2) и определив значения λ_0 при нулевой координате, можно найти длины волн аномального заграждения для разных значений возмущения показателя преломления окружающей среды и, тем самым, найти корректное значение S_n , которое слабо отличается (см. Фиг.1) от результатов громоздкого 3d FDTD моделирования (обычно не менее 7 часов на восьмиядерном персональном компьютере). Данный алгоритм открывает возможности быстрого анализа и оптимизации параметров сегментных периодических структур и датчиков на их основе с использованием методов эффективного показателя преломления и 2d FDTD. Большеразмерные структуры анализировались нами дополнительно с помощью полуаналитического алгоритма метода линий (MoL), позволяющего с высокой точностью описывать прохождение и отражение оптической волны в структурах с произвольным числом периодических сегментов (2000 и более), что недоступно для метода 2d FDTD (обычно не более 512 сегментов при разумных ограничениях на оперативную память и время счета).

Результаты могут быть использованы для создания режекторных фильтров и оптических датчиков.

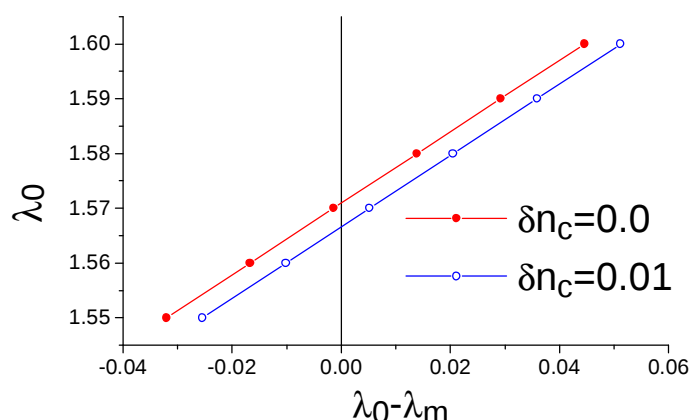


Рис.2. Алгоритм компенсации дисперсии для двумерного моделирования методом FDTD с применением EIM.

1. Е.А. Колосовский, А.В. Царев, "Аномальное заграждение волноводной моды, распространяющейся в кремниевом оптическом волноводе с туннельными периодическими вставками", Квантовая электроника, 47 (1), с. 58–64 (2017). <http://mi.mathnet.ru/qe16532>, Impact Factor: 1.119.
2. Е.А. Колосовский, А.В. Царев, Аномальное заграждение волноводной моды в кремниевом оптическом волноводе с периодическими туннельными вставками, Тезисы Российской конференции по актуальным проблемам полупроводниковой фотоелектроники (с участием иностранных ученых), ФОТОНИКА-2017, Новосибирск, 11 - 15 сентября 2017, с. 143, станд. докл. 2.11.

Грант РФФИ 15-07-03617–а «Исследование аномальных оптических явлений в дискретных оптических волноводных структурах», рук. А.В. Царев