

Иллюстрированный научный отчет 2013 года проекта РФФИ 12-07-00018-а (рук. А.Царев)
**Эффективное прохождение оптической волны в пересекающихся кремниевых
проволоках за счет прямого и обратного туннелирования в прилегающий волновод**

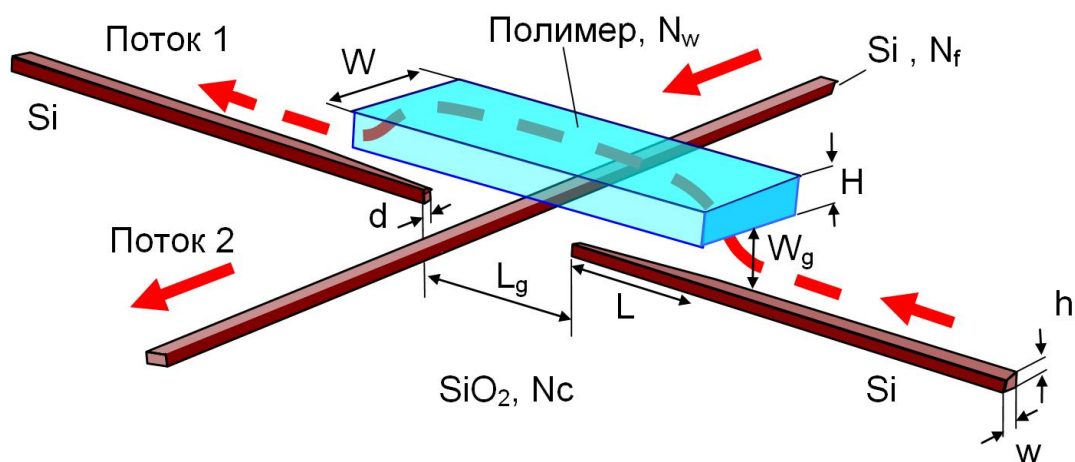
Множество оптических элементов используют пересечение канальных оптических волноводов, которое наиболее сложно реализовать в случае структур с высоким контрастом показателя преломления, к которым относятся кремниевые фотонные проволоки, широко используемые в кремниевой фотонике. Целью второго этапа проекта РФФИ 12-07-00018 (рук. А.Царев) является детальное исследование спектральных свойств пересечения тонких фотонных проволок с высоким показателем преломления за счет туннельной связи с толстым канальным волноводом с низким показателем преломления. Поставленная цель достигнута на основе собственного программного обеспечения, реализующего матричный алгоритм метода линий (MoL), а также коммерческого программного обеспечения, реализующего алгоритм FDTD.

В частности, прямое прохождение волны через область пересечения (поток 1 на Фиг. 1) анализировалось численно [1-3] путем прямого трехмерного моделирования методом 3D FDTD (см. Фиг. 2а). Видно, что наблюдается сильная зависимость от минимальной ширины фотонной проволоки для амплитуды и положения максимума спектральной эффективности прохождения света через область пересечения [3]. На основе этих результатов найдены параметры волноводной структуры, обеспечивающие максимум прохождения в телекоммуникационном диапазоне длин волн (~ 1.55 мкм).

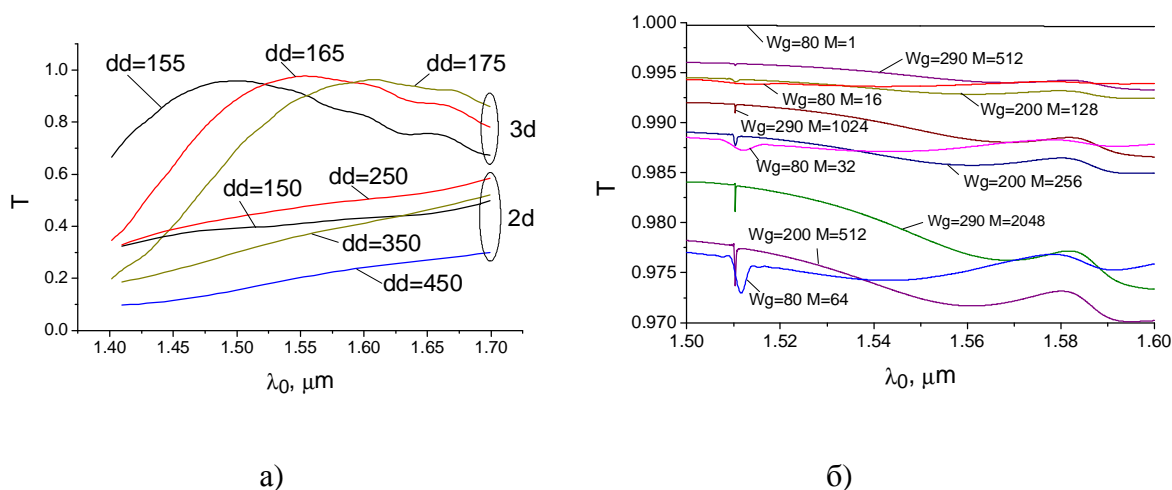
Для оптической волны в перпендикулярном направлении (поток 2 на Фиг. 1) возможно наличие многих десятков и сотен аналогичных пересечений, что делает физически невозможным (из-за более протяженной области) количественный расчет в трехмерном случае методом FDTD. Поэтому нами использовано двумерное приближение и матричный метод линий. Было реализовано программное воплощение метода MoL [1, 2], позволяющее рассчитать распространение волны в кремниевой проволоке с произвольным количеством (1-2048) слабых локальных возмущений в виде полимерных вставок, которые располагаются периодическим образом.

При этом важно, результирующее поле от произвольного числа одинаковых рассеивающих центров получается в виде матричного перемножения найденного решения для одиночного элемента. С учетом того факта, что матрица общего решения (фундаментальная система решений) для одиночного элемента рассчитывается только один раз, результирующее решение для произвольного числа полимерных вставок получается очень быстро (по рекуррентным аналитическим формулам) и с очень высокой точностью, не зависящей от числа рассеивающих центров. Разработанный программный инструмент позволяет получать ответ на принципиальный вопрос о коллективном влиянии большого числа слабых рассеивающих центров на спектральные свойства оптических сигналов, прошедших через область пересечения кремниевых фотонных проволок [1, 2]. Пример расчета спектральных характеристик прошедшей и отраженной волн при числе пересечений от 1 до 2048 показан на Фиг. 2б [2].

В целом, результаты второго этапа позволяют рассчитать спектральные свойства предлагаемого элемента, реализующего эффективное пересечение нанофотонных кремниевых проволок. Показано, что на основе полимера SU-8 с показателем преломления 1.56, удастся подобрать такие параметры волноводной структуры, при которых наблюдается высокая эффективность прохождения света в обоих перпендикулярных направлениях одновременно, причем число пресечений потока 2 может быть чрезвычайно большим (до 1024). Эти результаты являются оригинальными и принципиально важными для успешного завершения всего проекта.



Фиг. 1. Принципиальная схема эффективного пересечения двух кремниевых проволок [1].



Фиг. 2. Распространение фундаментальной моды через структуру, представленную на Фиг.1 а) Расчет методом 3D FDTD спектра сигнала прохождения для Потока 1 для разных значений минимальной ширины dd кремниевой проволоки; б) Расчет методом 2D MoL спектра сигнала прохождения для Потока 2 для разного числа рассеивающих полимерных вставок. $W = 1.5 \mu\text{m}$, $H = 1.7 \mu\text{m}$, $W_g = 340 \text{ nm}$, $L_g = 3 \mu\text{m}$, $L = 45 \mu\text{m}$, $N_f = 1.56$, $N_{Si} = 3.478$, $N_c = 1.4$, $h = 220 \text{ nm}$, $W = 450 \text{ nm}$.

Литература

1. А.В.Царев, Е.А.Колосовский, «Анализ прохождения света при пересечении тонких кремниевых проволок на основе туннельной вертикальной связи с толстым оптическим канальным волноводом», Квантовая электроника, т.43, №8, с. 744-750 (2013).
2. A. Tsarev and E. Kolosovsky, "Almost lossless multiple crossing of silicon wires by means of vertical coupling with a polymer strip waveguide", Proc. SPIE 8781, Integrated Optics: Physics and Simulations, 878112 (May 7, 2013); doi:10.1117/12.2017082.
3. Andrei Tsarev, "Numerical modeling of optical multiplexer on SOI constructed by multiple coupled waveguides," IEEE Journal of Selected Topics in Quantum Electronics, Issue in Silicon Photonics, 10.1109/JSTQE.2013.2295180, принята в печать.
4. www.rsoftdesign.com, Rsoft Photonic CAD Suite, ver. 8.0, single license (2007).