

Моделирование прохождения света через нитевидную структуру кремния

И.А. Шишкин¹, Д.А. Лизункова¹

¹Самарский национальный исследовательский университет им. академика С.П. Королева, Московское шоссе 34а, Самара, Россия, 443086

Аннотация

В данной работе приводятся результаты моделирования прохождения света через нитевидную упорядоченную наноструктуру в видимом и ИК диапазоне. Сравниваются графики зависимости коэффициента отражения от длин волн полученных как при симуляции в программе Comsol Multiphysics, так и на эксперименте [1]

Ключевые слова

кремниевые нитевидные наноструктуры, коэффициент отражения, фотоэлектрические преобразователи

1. Введение

В настоящее время проявляется большой интерес к кремниевым нанонитям, которые могут применяться в оптоэлектронике, фотонике, фотовольтаике, сенсорике. Кремниевые нанонити обладают заданными электронными и оптическими свойствами, которые, в свою очередь заметно отличаются от объемного кристаллического кремния и наночастиц кремния. Это связано, в первую очередь, с квантово-размерными эффектами, которые присущие наноматериалам, поскольку нанонити имеют малый диаметр, порядка 20-200 нм [2].

В работе [1] кремниевые нитевидные наноструктуры создавались методом металл-стимулированного химического травления подложки монокристаллического кремния. В качестве травителя выступал водный раствор плавиковой кислоты, катализатором служили наночастицы серебра.

2. Моделирование

Для описания прохождения электромагнитных волн в нитевидной структуре, состоящей из 10 нанонитей с толщиной 0.05 мкм, использовался программный пакет Comsol Multiphysics. Для решения поставленной задачи была выбрана система, где часть подложки кремния находится в воздушной среде, поэтому было взято волновое уравнение на основе переменной напряженности электрического поля для двух сред.

Граничными условиями, при которых выполняется условие $n \times E = 0$, в данной системе являются боковые грани ограниченной воздушной среды. Верхняя грань данной схемы является плоскостью плотности потока энергии падающего излучения, которая описывается входящей модой электрического поля.

3. Результаты моделирования

На рисунке представлены результаты моделирования прохождения света через структуру с нанонитями, в которой расстояние между каждым элементом нитевидной системы составляло 0.1 мкм. Из анализа видно, что на длине волны 350 нм наблюдается минимум электрического поля в структуре, т.е. происходит минимум отражения порядка 1% (пунктирная линия). В реальном эксперименте, на длине волны 350 нм наблюдается отражение света 5%. В ИК диапазоне так же

имеются различия в отражении от 4 до 6%. Это объяснимо тем, что образцы, образованные в результате травления, имеют не такую упорядоченную структуру, чем в модели.

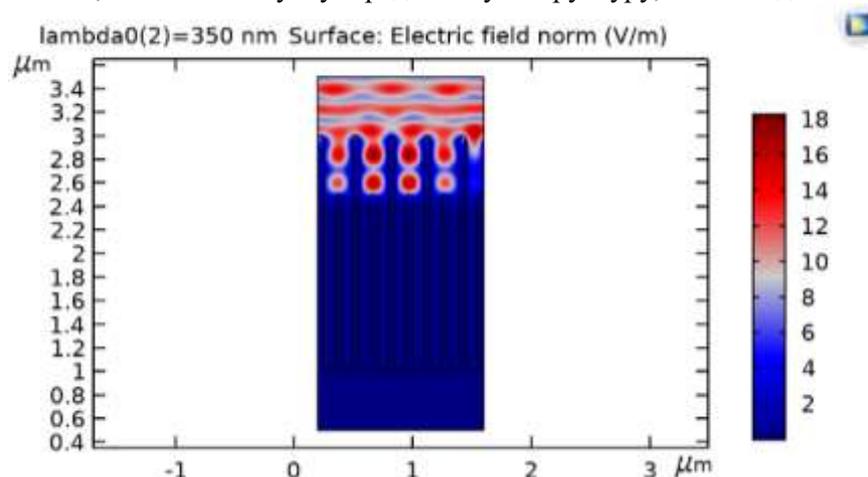


Рисунок 1: 2D карта распределение света в нитевидной структуре (10 отдельно стоящих нанонитей) при минимуме коэффициента отражения

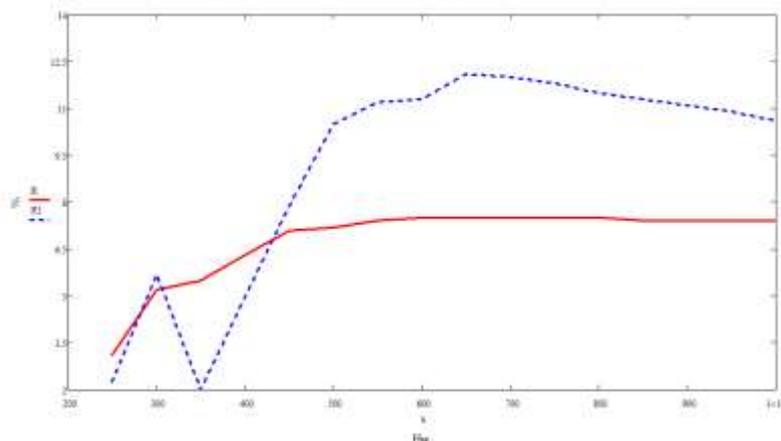


Рисунок 2: Графики зависимости $R(\lambda)$, где пунктирная линия – модель структуры в Comsol Multiphysics и сплошная линия – экспериментальные данные [1]

4. Благодарности

Работа выполнена при поддержке Фонда содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере № 12980ГУ/2018.

5. Литература

- [1] Гончар, К.А. Оптические свойства нитевидных наноструктур, полученных металлстимулированным химическим травлением пластин слабо легированного кристаллического кремния / К.А. Гончар, Л.А. Осминкина, В. Сиваков, В. Лысенко, В.Ю. Тимошенко // Физика и техника полупроводников. – 2014. – Т. 48, № 12. – С. 1654-1659.
- [2] Hochbaum, A.I. Controlled Growth of Si Nanowire Arrays for Device Integration / A.I. Hochbaum, R. Fan, R. He, P. Yang // Nano Letters. – 2005. – Vol. 5. – P. 457.