

## **Исследование ближних полей в периодических светоулавливающих структурах**

Из всех видов существующей в мире энергетики только фотовольтаика потенциально способна полностью обеспечить энергетические потребности человечества. Тонкопленочные солнечные батареи в настоящий момент являются одной из наиболее передовых технологий в солнечной энергетике, поскольку они позволяют минимизировать расходы материала, а, следовательно, и стоимость батарей. Главная проблема тонкопленочных солнечных батарей — это оптические потери, связанные с пропусканием света, который, проходя через активный слой, поглощается подложкой и рассеивается в виде тепла. По этой причине для тонкопленочных солнечных батарей предпочтительнее применять не просто антиотражающие покрытия, а так называемые светоулавливающие структуры (СУС), концентрирующие свет в объеме активного слоя. Существуют различные типы СУС, большинство из которых резонансны и потому эффективны только в определенной части спектра.

В работе [1] был предложен нерезонансный метод светоулавливания, основанный на так называемом эффекте наноджета. Суть эффекта заключается в том, что плоская волна, падая на диэлектрическую сфероидальную частицу с определенным коэффициентом преломления, собирается в узкий интенсивный пучок. Численное моделирование показывает, что плотный массив таких сферических частиц, нанесенный на фотовольтаическую подложку, способен значительно увеличить эффективность тонкопленочной солнечной батареи, как за счёт снижения отражения от структуры, так и за счёт улучшения поглощения прошедшего света.

Механизм действия данной СУС представляет, как практический, так и фундаментальный интерес. В частности, важно понимать распределение полей внутри фотовольтаического слоя. Это распределение может быть получено при математическом моделировании по в рамках метода FDTD, но подтвердить расчёт непосредственными измерениями в оптическом диапазоне представляется невозможным. Действительно, распределение ближнего поля может быть измерено посредством ближнепольной оптической микроскопии, но вне, а не внутри твёрдого слоя полупроводника.

Между тем, для получения распределения полей в вышеупомянутой структуре можно воспользоваться микроволновым прототипированием. Переходя от оптического диапазона к микроволновому и пропорционально увеличивая размеры структуры, можно получить полностью распределение полей, полностью аналогичное распределению полей в фотовольтаическом слое, при условии, что диэлектрические характеристики прототипа в микроволновом диапазоне будут равны диэлектрическим характеристикам прототипируемого объекта в оптическом диапазоне. Если взять в качестве прототипа кремниевого фотовольтаического слоя жидкость с достаточно высокой диэлектрической проницаемостью, то появится возможность измерить распределение полей внутри исследуемого объёма жидкости.

В настоящий момент мы

1) выполнили компьютерное моделирование СУС (бесконечный массив частиц полистирола на допированном кристаллическом кремнии) в неорганических тонкопленочных солнечных батареях при помощи программного пакета CST Microwave Studio по методу FDTD, определили частоту и размеры частиц полистирола, при которых максимизируется коллимация света и поглощение.

2) подобрали материалы, свойства которых в микроволновом диапазоне соответствуют свойствам кристаллического кремния и полистирола в оптическом диапазоне.

3) Выполнили компьютерное моделирование прототипа в микроволновом диапазоне

Мы планируем из данных материалов приготовить композицию, прототипирующую фотовольтаическую структуру, произвести измерение поля внутри данной фотовольтаической структуры и построить на его основании 3D распределение вектора Пойнтинга внутри прототипа фотовольтаического слоя.

#### Библиографический список

1. C.R. Simovsky, A.S. Shalin, P.M. Voroshilov, P.A. Belov, J. Appl. Phys., 114, 103104 (2013).