

УДК 538.958

**ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ФАКТОРА ПАРСЕЛЛА AU-SI-AU
МЕТАПОВЕРХНОСТИ ДЛЯ КОНТРОЛЯ АП-КОНВЕРСИОННОЙ
ФОТОЛЮМИНЕСЦЕНЦИИ КРЕМНИЯ**

Курганов Е.М.

(Национальный Исследовательский Университет ИТМО)

Научный руководитель – к.ф.-м.-н., с.н.с. Зуев Д.А.

(Национальный Исследовательский Университет ИТМО)

Источники широкополосного излучения в нано-масштабе крайне востребованы для таких областей, как передача информации на чипе, биовизуализация. В данном докладе предложена геометрия гибридной металлodieлектрической метаповерхности на основе кремния, способной эффективно генерировать широкополосное излучение в видимой и, частично, ближней ИК области при возбуждении фемтосекундными импульсами в ближнем ИК диапазоне.

Введение.

На сегодняшний день кремний является одним из лидирующих материалов в полупроводниковой электронике, однако он также потенциально может применяться для создания оптических элементов для таких задач, как передача информации на чипе, биовизуализация, ближнепольная микроскопия. Однако применение кремния для данных задач ограничено его крайне низкой квантовой эффективностью, связанной с непрямозонной структурой полупроводника.

На данный момент одним из основных способов усилить излучение кремния является использование резонансной геометрии. Один из подходов предполагает использование Ми-резонансов и диэлектрических наноструктур. Второй подход использует плазмонные резонансы металлodieлектрических структур. В данном тексте рассматривается второй подход.

Известно, что квантовая эффективность материала растет с уменьшением времени его радиационных процессов, известным как проявление эффекта Парселла. Также для увеличения частоты радиационных переходов требуется эффективная накачка полупроводника, требующая высокой локализации падающего поля в объеме.

Для решения задачи высокой локализации поля была предложена геометрия метаповерхности вида металл-полупроводник-металл, зарекомендовавшая себя как способная крайне эффективно поглощать и концентрировать падающее на нее излучение.

Основная часть.

В качестве исследуемой геометрии была выбрана планарная структура периодически расположенных металлodieлектрических цилиндров из кремния и золота на золотой пленке. Данное решение позволяет добиться значительного усиления поля внутри кремния, тем самым, увеличивая эффективность накачки.

Для определения резонансных свойств структуры был проведен численный расчет фактора Парселла в видимом и ближнем ИК диапазонах в зависимости от радиуса структур при помощи модели электрического диполя, помещенного внутрь кремниевого диска. Согласно расчетам, для диполя, ориентированного в плоскости метаповерхности, наблюдается выраженный максимум, не зависящий от радиуса дисков. Для диполя, ориентированного перпендикулярно поверхности, наблюдается несколько максимумов, как зависящих, так и не зависящих от радиуса дисков. Данная зависимости обусловлена изменением продольной геометрии резонатора при изменении радиуса. Каждый максимум фактора Парселла соответствует локальному максимуму интенсивности излучения изучаемой структуры.

Так как геометрия исследуемой структуры предполагает генерацию высокой плотности электронно-дырочных пар, предложенное решение не может считаться полным без учета

зависимости диэлектрической проницаемости кремния от плотности свободных носителей в объеме полупроводника, которую можно получить, решив соответствующее кинетическое уравнение. В результате оказывается, что при увеличении концентрации носителей максимум фактора Парселла сдвигается в сторону более коротких волн, что следует учитывать при задании режима работы метаповерхности.

Выводы.

Таким образом, был продемонстрирован численный расчет фактора Парселла для контроля излучения ап-конверсионной фотолюминесценции кремния в видимом диапазоне длин волн. Предложенная геометрия может найти применение в областях, требующих генерации широкополосного излучения в нано-масштабе. Так, например, данное решение может использоваться для передачи информации в системах на чипе, значительно ускоряя коммуникацию между компонентами по сравнению с использованием проводной передачи. Кроме того, высокая чувствительность плазмонных структур к изменению свойств окружающей среды позволяет использовать данную геометрию для детектирования биомолекул, крайне востребованного в медицине и пищевой промышленности.

Курганов Е.М. (автор)

Подпись

Зуев Д.А. (научный руководитель)

Подпись