

**ЛАЗЕРНАЯ ПЕЧАТЬ КРЕМНИЙ-ЭРБИЕВЫХ НАНОСТРУКТУР
ДЛЯ ЗАЩИТНЫХ МЕТОК****Петрова Е.А. (Университет ИТМО), Важенин И.И. (Университет ИТМО)****Научный руководитель – к. ф. - м. н. Зуев Д.А.
(Университет ИТМО)**

Разработка физически неклонируемых защитных меток может помочь эффективно бороться с подделками. Мы демонстрируем лазерную печать наночастиц из тонких кремний-эрбиевых пленок для физически неклонируемых меток. Структура наночастиц представляет собой смесь оксидированного кремния и эрбия с включениями кристаллитов кремния. Частицы имеют разные размеры, а также внутреннюю структуру (положение и размер кристаллитов), что делает их интересными для применения в области физически неклонируемых защитных меток.

Введение. Контрафактная продукция является широко распространенной проблемой в современном мире, с ней сталкиваются около 15–20% малых и средних предприятий [1]. Рост количества поддельных товаров приводит к кризисным ситуациям, вызывая серьезные последствия для здоровья людей и общества в целом [2].

Одним из наиболее эффективных способов борьбы с подделками является использование защитных меток. Проблема заключается в том, что большинство таких меток могут быть скопированы с использованием тех же технологий и оборудования, что и для их производства. При производстве физически неклонируемых защитных меток используют стохастические процессы. Благодаря этому такие метки невозможно воспроизвести с помощью методов и оборудования, используемых при их создании. Каждая из изготовленных меток будет уникальной, что значительно усложняет задачу подделки. Однако из-за уникальности каждой метки возникает необходимость в создании базы данных для аутентификации, содержащей информацию о произведенных метках, а также в разработке специальных алгоритмов для сравнения информации о метках.

Основная часть. Процесс печати наночастиц состоит из трех этапов. На первом этапе была напылена пленка, состоящая из слоя эрбия и слоя кремния на кварцевой подложке. Затем эта пленка была отожжена в печи для повышения адгезии между слоями и перевода аморфного кремния в поликристаллическое состояние. Для подтверждения этого факта был измерен спектр комбинационного рассеяния после отжига, который показал пик, соответствующий комбинационному рассеянию кристаллического кремния. После этого методом лазерной абляции пленки были получены наночастицы из смеси кремния с эрбием. Печать наночастиц проводилась в двух различных средах: в воздухе и в изопропиловом спирте.

Сканирующая электронная микроскопия была использована для определения формы наночастиц. Кроме того, на основе изображений, полученных с помощью сканирующей электронной микроскопии, был проведен анализ распределения размеров наночастиц. Этот анализ показал, что на образце, созданном в изопропиловом спирте, присутствуют наночастицы диаметром до 800 нм, в то время как на образце, полученном в воздухе, диаметр наночастиц не превышал 400 нм.

Спектры комбинационного рассеяния света, измеренные для наночастиц, показали пик, характерный для кристаллического кремния. Также были измерены спектры фотолюминесценции наночастиц. Наночастицы демонстрируют характерный пик

фотолюминесценции ионов эрбия на длине волны 1,5 мкм. Благодаря разному размеру и внутренней структуре различные наночастицы имеют разные спектры рассеяния и цвета.

Было проведено исследование внутренней структуры наночастиц помощью просвечивающей электронной микроскопии и энергодисперсионной рентгеновской спектроскопии. Эти данные показали наличие случайно распределенных кристаллических кремниевых образований внутри аморфной наночастицы, состоящей из смеси оксидированного кремния и эрбия.

Выводы. В данной работе показана технология лазерной печати наночастиц из многослойной пленки кремния-эрбия. Были подтверждены их кристаллическая структура и специфические оптические свойства, такие как фотолюминесценция на длине волны 1,5 мкм. Наночастицы, полученные в изопропиловом спирте, показали больший размер и более интенсивные оптические сигналы, что делает их предпочтительными для создания меток. Исследование внутренней структуры выявило случайно распределенные кристаллические включения кремния в аморфной матрице смеси оксидированного кремния и эрбия, обеспечивающие уникальность каждой метки.

Список использованных источников:

1. OECD/EUIPO. Risks of Illicit Trade in Counterfeits to Small and Medium-Sized Firms // Illicit Trade, OECD Publishing. — 2023.
2. Marcela Bittar Araujo Lima, Mauricio Yonamine. Counterfeit medicines: relevance, consequences and strategies to combat the global crisis // Braz. J. Pharm. Sci. — 2023. — Vol. 59. — P. e20402.