

УДК 535.015

**ФИЗИЧЕСКИ НЕКЛОНИРУЕМЫЕ ЗАЩИТНЫЕ МЕТКИ НА ОСНОВЕ  
ДЕВЕТТИНГА ПЛЕНКИ КРЕМНИЙ/ЗОЛОТО**

**Сандомирский М. П.** (Университет ИТМО), **Петрова Е. А.** (Университет ИТМО),  
**Кустов П. Н.** (Университет ИТМО),  
**Научный руководитель – к. ф. - м. н. Зуев Д. А.**  
(Университет ИТМО)

**Введение.** Проблема контрафакта становится все более актуальной для мировой экономики. Около 2,5% товаров, составляющих мировой рынок – подделки [1]. Такая большая доля контрафактной продукции приводит к серьезным финансовым потерям как для компаний-производителей, так и для покупателей.

Для борьбы с контрафактом используются защитные метки. Наиболее широкое применение на данный момент имеют такие защитные метки, как голограммы, УФ-метки и водяные знаки. Они часто используются благодаря простым способам их считывания, однако такие метки можно скопировать, обладая знанием технологии их производства и доступом к необходимым материалам и оборудованию.

Для обеспечения лучшей защиты ценных предметов были предложены физически неклонируемые защитные метки, в основе которых лежат стохастические - вероятностные процессы. Благодаря этому при повторении процесса производства каждый раз получается уникальная метка. Для аутентификации таких защитных меток требуется лабораторное оборудование, а также база данных, содержащая информацию об изготовленных метках.

В передовых научных журналах с каждым годом появляется все больше статей на тему физически неклонируемых защитных меток. Однако большая их часть предлагает лишь стохастический узор в качестве области считывания. Более того, для меток, напечатанных с помощью капельного лития, обычно необходимо нанесение дополнительных ориентиров для определения области аутентификации. Таким образом существует потребность в разработке защитных меток с простыми и быстрыми способами нанесения и считывания.

Цель данной работы заключалась в создании физически неклонируемой защитной метки в форме QR-кода, изготовленной деветтингом двухслойной пленки кремний/золото.

**Основная часть.** Печать защитной метки происходит с помощью деветтинга двухслойной пленки, состоящей из 10 нм золота и 100 нм кремния. Для создания металл-полупроводниковых структур использовалось фемтосекундное лазерное излучение, которое воздействовало на пленку, причем за время его экспозиции образец перемещался по окружности. Варьируя среднюю мощность лазерного излучения, радиус окружности и скорость перемещения образца, были получены различные наноструктуры: много мелких наночастиц, несколько крупных или одна большая. Полученные типы наноструктур были исследованы с помощью сканирующей электронной микроскопии. Также были получены спектры фотолюминесценции и комбинационного рассеяния.

Полученные таким методом наночастицы являются смесью кремния и золота. Форма каждой частицы, а также соотношение материалов отличаются друг от друга. В связи с этим для каждой наночастицы наблюдается свой уникальный спектр фотолюминесценции.

Защитная метка представляет собой QR-код, где на месте темных пикселей находятся наночастицы. QR-код считывается с фотографии защитной метки в светлом поле при увеличении 10х. Он может содержать информацию о товаре или ссылку на сайт производителя. Для аутентификации защитной метки снимается карта фотолюминесценции, которая сравнивается с информацией о метке в базе данных производителя. При сравнении информации с метки и из базы данных сначала происходит кластеризация спектров карты по интенсивности, а затем попиксельное сравнение. Благодаря высокой интенсивности фотолюминесценции наночастиц кремний/золото [2], для считывания спектра

фотолюминесценции с одной наночастицы достаточно секунды накопления сигнала. Это позволяет быстро считывать защитную метку.

Для защитной метки была исследована термическая и механическая устойчивость. Было показано, что защитная метка выдерживает нагрев до 150°C и способна выдерживать падение с высоты одного метра. Также была исследована стабильность метки при хранении в комнатных условиях. По прошествии шести месяцев метка корректно распознается.

**Выводы.** В результате работы с помощью деветтинга двухслойной пленки кремний/золото получен образец защитной метки. Определены режимы деветтинга для получения различных типов наноструктур. Разработанная защитная метка дает возможность хранить информацию о товаре с помощью QR-кода, состоящего из уникальных наночастиц, делающих метку неклонированной. Предложен способ аутентификации изготовленной защитной метки. Также показана термическая и механическая устойчивость защитной метки.

#### **Список использованных источников.**

1. OECD/EUIPO (2019), Trends in Trade in Counterfeit and Pirated Goods, Illicit Trade, OECD Publishing, Paris/European Union Intellectual Property Office.
2. Koromyslov S, Ageev E, Ponkratova E, Larin A, Shishkin I, Danilov D, Mukhin I, Makarov S, Zuev D. Femtosecond Laser-Assisted Formation of Hybrid Nanoparticles from Bi-Layer Gold-Silicon Films for Microscale White-Light Source. *Nanomaterials* (Basel). 2022 May 21;12(10):1756. doi: 10.3390/nano12101756.