Тиражируемые защитные метки, содержащие случайный рельеф, и контроль их подлинности

А. М. Смолович[1], Л. Д. Клебанов[2], И. Д. Лактаев[1], А. П. Орлов[1,3,4], П. А. Смолович[5], А. В. Фролов[1], О. В. Бутов[1]

[1] Институт радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова Российской академии наук, Москва, Россия

[2] IPG Photonics Corp., Oxford, MA, USA

[3] Институт нанотехнологий микроэлектроники Российской академии наук, Москва, Россия

[4] Институт бионических технологий и инжиниринга, Первый Московский государственный медицинский университет имени И.М. Сеченова, Москва, Россия

[5] Twilio Spain SL, Madrid, Spain

Можно исключить возможность контактного копирования голографического рельефа традиционных защитных голограмм, но нельзя исключить возможность их голографического копирования, при котором восстановленная голограммой волна регистрируется повторно на голограмме-копии. В работе экспериментально реализована защитная метка, содержащая участок случайного диффузного рельефа. Голографическое копирование участка невозможно, поскольку он не является голограммой. Участок случайного рельефа является практически уникальным, что позволяет использовать его в качестве защитного элемента. Для идентификации подлинности защитной метки регистрировались спекл-картины, сформированные репликами, как с одного и того же, так и с другого участков случайного рельефа. Затем вычислялась их кросс-корреляция. Предполагается, что предложенные защитные метки могут производиться на стандартном оборудовании, для тиражирования защитных голограмм.

Ключевые слова: Защитная метка, Идентификации подлинности, Случайный рельеф, Спекл, Корреляция.

Цитирование: **Смолович, А. М.** Тиражируемые защитные метки, содержащие случайный рельеф, и контроль их подлинности / А. М. Смолович, Л. Д. Клебанов, И. Д. Лактаев, А. П. Орлов, П. А. Смолович, А. В. Фролов, О. В. Бутов // HOLOEXPO 2023: 20-я Международная конференция по голографии и прикладным оптическим технологиям : Тезисы докладов. — СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2023. — С. 199–203.

Обычно традиционные защитные голограммы надежно защищают от контактного копирования голографического рельефа. Однако нельзя исключить возможность их голографического копирования. При голографическом копировании изображение с голограммы восстанавливается пучком когерентного света и производится повторная регистрация голограммы восстановленного изображения. На голограмму-копию, имеющую фазовый рельеф, может быть нанесено металлическое покрытие. Затем методом гальванопластики по стандартной технологии может быть изготовлена металлическая матрица, которая может быть использована для тиражирования копий исходной защитной голограммы методом тиснения.

В докладе обсуждается защитная метка, допускающий массовое тиражирование, подобное тиражированию защитных голограмм, но исключающая возможность

голографического копирования. Это достигается тем, что предлагаемая защитная метка содержит фазовый рельеф, который является не голограммой, а участком случайного диффузного рельефа [1, 2]. Участок случайного рельефа, содержащий достаточно большое количество неоднородностей, является практически уникальным. В то же время, он может тиражироваться методом тиснения, как обычная рельефная голограмма. Голографическое копирование участка случайного рельефа невозможно, так как это не голограмма. Для защиты от контактного копирования подходят методы, разработанные для защитных голограмм. Фотографическое копирование случайного рельефа также невозможно, так как рельеф трехмерный. Конечно, можно зарегистрировать голограмму рельефа, но отличить рельеф от его голограммы, не составляет труда.

В случае если у нас имеется подлинная защитная метка и метка, подлинность которой требуется проверить, то идентификацию ее подлинности производится следующим образом. Участок случайного рельефа проверяемой защитной метки, освещают пучком когерентного света, в результате чего образуется спекл-картина [3], которую сравнивают с аналогичной спекл-картиной подлинной защитной метки при использовании одинаковой оптической схемы. Если бы участки случайного рельефа были идентичны, то и спекл-картины рассеянного ими света также должны были бы быть идентичны. На практике профиль рельефа разных копий подлинных меток будет иметь небольшие отличия, также всегда присутствуют неточности установки метки в оптическую схему, шум приборов и т.п. Поэтому соответствующие спекл-картины будут немного отличаться. Для определеня величины этого различия вычисляется коэффициент корреляции указанных спекл-картин. Если этот коэффициент корреляции превысит установленный порог, делается вывод о подлинности проверяемого оптического защитного элемента. Величина порога устанавливается из соображений обеспечения надежной идентификации при наличии реальных неточностей.

Чтобы по идентичности спекл-картин сделать вывод о подлинности проверяемой защитной метки, также надо исключить случай, когда вместо метки, содержащей участок со случайным рельефом, используется ее голограмма. Для этого операцию освещения проверяемой и подлинной защитных меток пучками когерентного излучения и сравнения спекл-картин повторяют несколько раз, при этом длина волны излучения и/или угол падения освещающего пучка изменяются одинаковым образом, как для участка трехмерного рельефа проверяемой защитной метки, так и для соответствующего участка трехмерного рельефа подлинной защитной метки. Тогда, если проверяемая защитная метка также является подлинной, соответствующие спекл-картины останутся идентичными, а если проверяемая защитная метка является голограммой подлинной метки, соответствующие спекл-картины будут отличаться друг от друга.

Трехмерный рельеф защитной метки может содержать элементы, доступные визуальному наблюдению в процессе идентификации. В этом случае в процессе идентификации подлинности элементы рельефа могут наблюдаться невооруженным глазом и/или в оптический микроскоп. Для тиражирования и приклеивания защитной метки

предлагается использовать такие же технологические операции, что и для голографических защитных меток. Поэтому, не вызывает никаких дополнительных трудностей использование комбинированных защитных меток, трехмерный рельеф которых, помимо участков, содержащих шероховатую поверхность, также содержит голографические участки.

В эксперименте в качестве модели защитных меток использовались полимерные реплики со шлифованной поверхности фторопластовой пластины. Фторопласт был выбран для уменьшения адгезии. Тонкий слой УФ отверждаемого фотополимера наносился на поверхность подложки, в качестве которых использовались стеклянные и кварцевые пластинки. Подложка с нанесенным слоем полимера совмещалась с поверхностью фторопластовой пластины под оптическим микроскопом, а затем производилось экспонирование фотополимера УФ лампой. Толщина слоя фотополимера после совмещения контролировалась с помощью твёрдых ограничителей, расположенных по периметру участка копируемой поверхности, и составляла 50 мкм. Поперечные размеры рабочего поля реплики составляли от 5×5 до 10×10 мм^2. Для увеличения отражательной способности реплик на поверхность случайного рельефа методом магнетронного напыления наносился слой рутения толщиной 100 нм. Коэффициент пропускания такой пленки составлял 2,9×10^{-3}.

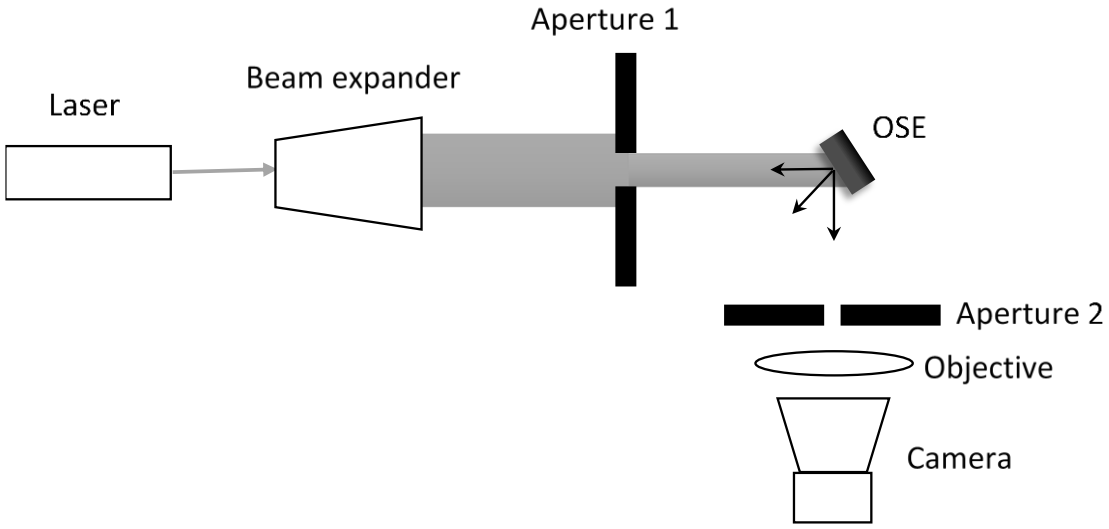

Рис. 1. Оптическая схема эксперимента по идентификации подлинности меток

Оптическая схема эксперимента по идентификации подлинности защитных меток показана на Рис. 1. Использовался полупроводниковый лазер с длиной волны света 0,65 мкм, мощность лазерного пучка могла регулироваться в диапазоне 0,1-2 мВт. Спекл-картина регистрировалась цифровой фотокамерой USB микроскопа Supereyes B011 с разрешением 2594×1922 пикселей и размером одного пикселя на КМОП матрице 2,2×2,2 мкм. Средний размер спеклов регулировался величиной ирисовой диафрагмы, установленной перед объективом. Оптимальный средний линейный размер спеклов составлял 5-10 пикселей. Для сравнения спекл-картин, они вводились в компьютер и обрабатывались специально разработанной программой, которая вычисляла их корреляцию. Работа алгоритма

программы состояла в перемещении изображения одной спекл-картины относительно изображения другой и вычислении скалярного произведения двух матриц. Корреляция произвольного изображения с идентичным всегда будет равна 1, для случайных изображений их кросс-корреляция будет близка к 0. Поскольку спекл-картины разных реплик могли быть слегка повернуты относительно друг друга, помимо стандартных сдвигов матрицы, расчеты проводились при различных поворотах. Полученные в результате обработки снимков спекл-картин значения коэффициентов кросс-корреляции показаны в Таблице 1. Здесь 1B и 1D реплики с первого участка случайного рельефа, а 2A и 2F – со второго. Можно видеть, что корреляция между спекл-картинами, соответствующими репликам с одного и того же участка случайного рельефа, значительно превышает корреляцию, соответствующую репликам с разных участков.

Таким образом, в работе предложены и реализованы защитные метки, содержащие случайный рельеф, которые не допускают голографического копирования. Экспериментально показано, что по корреляции спекл-картин рассеянного излучения можно надежно установить, является ли проверяемая метка подлинной. Предполагается, что защитные метки могут производиться на стандартном оборудовании, для тиражирования защитных голограмм.

Работа выполнена в рамках Государственного задания ИРЭ им. В. А. Котельникова РАН. Авторы благодарят А.А Златопольского за полезные обсуждения методов обработки изображений, а А. С. Ильина за консультации по технологии снятия реплик и за нанесение отражающего покрытия на реплики.

Таблица 1. Кросс-корреляции спекл-картин, сформированных репликами с двух участков случайного рельефа

№	**1B**	**1D**	**2A**	**2F**
1B_	1.0	0.93	0.06	0.08
1D	0.93	1.0	0.05	0.06
2A	0.06	0.05	1.0	0.82
2F	0.08	0.06	0.82	1.0

Список источников

[1] **Патент № 2 706 825 РФ.** Способ защиты объектов от подделки путем нанесения защитной метки / А. М. Смолович. — Опубл. 21.11.2019.

[2] **Патент № 037595 Евразийский патент.** Способ защиты объектов от подделки путем нанесения защитной метки / А. М. Смолович. — Опубл. 20.04.2021.

[3] **Goodman, J. W**. Some fundamental properties of speckle. / J. W. Goodman // J.Opt.Soc.Am. — 1976. — Vol 66. —№ 11. — P. 1145–1150.

Replicable security labels containing random relief and control of their authenticity

A. M. Smolovich[1], L. D. Klebanov[2], I. D. Laktaev[1], A. P. Orlov[1,3,4], P. A. Smolovich[5], A. V. Frolov[1], O. V. Butov[1]

[1]Kotel'nikov Institute of Radio Engineering and Electronics (IRE) of the Russian Academy of Sciences, Mokhovaya 11-7, Moscow 125009, Russia

[2]IPG Photonics Corp., Oxford, MA, USA

[3]Institute of Nanotechnology of Microelectronics of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

[4]Institute for Bionic Technologies and Engineering, I. M. Sechenov First Moscow State Medical University, Moscow, Russia

[5]Twilio Spain SL, Madrid, Spain

It is possible to exclude the possibility of contact copying of the holographic relief of traditional security holograms, but one cannot exclude the possibility of their holographic copying, in which the wave reconstructed by the hologram is recorded again on the copy hologram. In the work, a protective label containing a random diffuse relief area is experimentally implemented. Holographic copying of the area is not possible because it is not a hologram. The area of random relief is almost unique, which allows it to be used as a protective element. To identify the authenticity of the security label, speckle patterns formed by replicas were recorded both from the same and from another area of a random relief. Then their cross-correlation was calculated. It is assumed that the proposed security labels can be produced on standard equipment for replicating security holograms.

Keywords: Security label, Authenticity identification, Random relief, Speckle, Correlation.