

Квантовые эффекты в информационных технологиях идентификации и установления подлинности

В.В. Маклаков

Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, г. Москва, Россия

Аннотация. Разработана новая информационная технология формирования скрытых маркеров – защитных идентификаторов различных полимерных изделий и других материалов. Данная технология позволяет кодировать идентификаторы как отдельных изделий, так и партий продукции различных видов. Разработанные маркеры могут быть наноструктурированы и не нарушают внешний вид изделий. Показана возможность формирования в различных материалах скрытых устойчивых идентификаторов, которые могут быть выполнены с тонкой периодической структурой, в том числе на основе нанотехнологий. Применение таких маркеров реализует возможность развития новых элементов дизайна изделия с многоуровневой кодировкой. Предлагаемая технология в сочетании с развитием способов считывания скрытой и многоуровневой информации может служить основой развития нового метода идентификации и защиты от фальсификации изделий, документов, носителей информации, ценных предметов.

Ключевые слова: информационная технология, идентификация, лазеры, модификация, микроструктуры, наноструктуры, скрытая информация, кодировка.

DOI 10.14357/20718632180309

Введение

Задачи идентификации и установления подлинности промышленных изделий являются актуальными и прежде всего, направлены на повышение надежности, экономической целесообразности, а в целом – на укрепление безопасности государства. За последнее время разработано множество технологий, в том числе и информационных, которые основаны на различных физических явлениях и законах. Однако не в полной мере используются квантовые эффекты радиопизики. В работе профессора А.Г. Бутковского [7] были предсказаны новые эффекты управления квантово-механическими процессам. Благодаря появлению новых источников когерентного излучения,

которые генерируют потоки неразрушающих высокоэнергетичных фотонов, появилась возможность модификации свойств материалов без разрушения их механической структуры [6].

Любой материальный объект обладает совокупностью физических характеристик. В зависимости от уровня детализации это могут быть: структура поверхности, состояние атомов, молекул, размеры и свойства магнитных частиц. Таким образом, каждый материальный объект является носителем огромного количества информации.

Важнейшей задачей является создание внутренней детерминированной информации радиопизическими методами, которые позволяют устанавливать подлинность различных изделий.

Ниже в работе будут рассмотрены методы и новые технические решения, которые основаны на обнаруженных нами радиофизических квантовых эффектах, что позволяет создавать информационные технологии идентификации и установления подлинности различных изделий.

Эталонные идентификаторы могут храниться в отдельной базе данных в виде внешней детерминированной информации в самом защищаемом объекте и в сопровождающих его сертификатах.

Наиболее эффективным средством защиты от подделки или подмены является технология кодирования информации на основе когерентных эффектов. Такие методы отличаются от обычного кодирования информационной избыточностью и помехоустойчивостью. Применение фазово-частотного кодирования с использованием квантовых эффектов, исключает несанкционированный доступ к записанной информации в идентификаторе, как в объекте, так и в сопровождающем его сертификате.

1. Когерентный метод

Значительная часть используемых на практике материалов относится к полимерам, в том числе, с модифицированными свойствами [1-4]. Способ идентификации, в [7], состоит в использовании полимеров со специальными добавками, названными “скрытыми УФ поглотителями”. Фотолюминесцентные свойства химически обработанных частей такого материала отличаются от необработанных, что позволяет создавать скрытые изображения, визуализируемые в УФ-свете.

Подавляющее большинство применяемых материалов сильно поглощает УФ-излучение, приводя к диссоциации молекулярных связей и различным физико-химическим превращениям. Облучение УФ излучением, в том числе, лазерным может приводить к модификации или травлению поверхности, значительному изменению смачивания, электропроводности, прочих поверхностных свойств полимерных и других материалов. В Табл. 1. представлены поглощающие УФ-излучение молекулярные группы, энергии их переходов, а также наиболее мощные типы УФ-лазеров, которые могут их инициировать. Универсальными источниками света в УФ диапазоне спектра от 193 до 350 нм являются эксимерные лазеры, излучающие на галогенидах инертных газов: ArF (193 нм), KrF (248 нм), XeCl (308 нм), XeF (351 нм).

Известно, что в литографических процессах применяют селективное неразрушающее воздействие УФ- или вакуумного УФ-излучения (ВУФ) на фоторезист. В результате в фоторезисте формируются наноструктуры размером 20–100 нм модифицированного вещества. Эти наноструктуры в видимом свете визуально не наблюдаются и представляют собой скрытое изображение.

Аналогичным образом в оптоволоконной технологии формируют скрытые изображения Брэгговских решеток с размерами структур локально модифицированного вещества ~100 нм, отличающегося показателем преломления.

Рассматриваемый в данной работе подход к созданию новой технологии идентификации и защиты от фальсификации состоит в том, что

Табл. 1. Типичные молекулярные группы, поглощающие УФ-излучение, энергия и соответствующие длины волн переходов, типы УФ-лазеров для их возбуждения

Молекулярные связи	Энергия фотонов, эВ	Пиковая длина волны УФ-излучения, нм	Типы лазеров
C = C	6.9 – 7.75	160 – 180	ArF (193 нм), F2 (157 нм)
C = O	6.7, 4.2	186, 295	ArF, KrF (248 нм), XeCl (308 нм), 4я гармоника Nd:YAG (265 нм)
– NO ₂	4.4, 5.0	280, 210	ArF, KrF, XeCl, 4я гармоника Nd:YAG
– N = N	3.5, >4.8	350 < 260	XeF (351 нм), 3я гармоника Nd:YAG (353 нм), KrF, ArF
Бензольное кольцо	4.9, 6.2, 7.75	180, 200, 255	ArF, KrF, F ₂

различные материалы при облучении поглощают УФ-излучение и фотохимически модифицируются с образованием устойчивых скрытых изображений – маркеров, идентификаторов.

2. Экспериментальная часть

Для проведения экспериментов использовали импульсно – периодические электроразрядные эксимерные лазеры УФ-диапазона (193, 248, 308, 350 нм) с энергией квантов 3.5–6.4 эВ, мощность которых масштабируется до ~500 Вт. Такая мощность определяет возможность высокоэффективного применения эксимерных УФ лазеров в крупномасштабных промышленных технологиях. Различные эксимерные УФ лазеры для широкого круга применений серийно производятся Coherent Inc. (США), в России их производит ООО “Оптосистемы”.

При облучении образцов в зависимости от материала определялись нижняя и верхняя границы плотности энергии облучения образца лазерным излучением. Нижняя граница соответствовала появлению регистрируемых скрытых изображений в образце, верхняя – появлению видимых изменений в образце. Необходимая для получения скрытого изображения доза облучения могла быть получена либо за несколько импульсов, либо за один импульс лазерного облучения. Характерная оптимальная величина плотности энергии облучения образца лазерным излучением для получения скрытых маркеров-идентификаторов составляла 10 Дж/см².

Облучение образцов материалов лазерным УФ излучением осуществлялось пространственно-селективно, как правило, путем использования контактных масок с различными рисунками, в том числе с периодическими структурами, имеющими характерные размеры ~10 мкм. В некоторых случаях изображение формировались сканированием образца сфокусированным лазерным пучком.

До и после облучения лазерным УФ излучением для образцов материалов регистрировались: изображения образцов в видимом и УФ свете, с помощью которого могли проявляться скрытые изображения. При этом для УФ подсвета использовались стандартные УФ лампы, применяемые для идентификации банкнот и

имеющие максимальную спектральную интенсивность на длине волны 366 нм.

Кроме этого, с помощью флуориметров (Hitachi и NTX2000) измерялись спектры флуоресценции образцов до и после их обработки лазерным УФ излучением. Эти измерения позволяли регистрировать спектральные особенности скрытых изображений, в том числе тех, которые не обнаруживались визуально при УФ подсвете.

В некоторых случаях метод проявления рисунка скрытых изображений – маркеров или идентификаторов, формируемых лазерным УФ-излучением, состоял в пространственно-селективной конденсации паров влаги на поверхности модифицированных образцов, вследствие различия величины поверхностной энергии обработанных и необработанных участков. Для маркеров-идентификаторов, имеющих тонкую периодическую структуру с периодом ~10 мкм, один из методов контроля состоял в наблюдении дифракции на них когерентного лазерного излучения видимого диапазона с длиной волны 0.63 мкм.

3. Результаты и их обсуждение

На Рис. 1 представлены различные по окраске и прозрачности образцы пластика – поливинилхлорида размером 4 × 6 см². На Рис. 2 – в качестве образца использовался CD диск. Модификация образцов осуществлялась при использовании контактных масок с различными рисунками, за исключением образца, представленного справа на Рис. 1 а, б, который был обработан пачкой лазерных импульсов при вращении образца и воздействии лазерного пучка, сформированного в узкую полоску.

Фото- модифицированные области образцов не обнаруживаются в видимом свете (Рис. 1 а, Рис. 2 а). Эти области наблюдали при УФ-освещении некогерентным источником – УФ лампой (Рис. 1 б, Рис. 2, б).

В других случаях фото- модифицированные области регистрировали приборными методами (Рис. 3, Рис. 4).

Рис. 3 иллюстрирует спектральные характеристики сформированных в поликарбонате CD диска маркеров-идентификаторов, не визуализируемых при УФ подсвете, но наблюдаемых с помощью УФ-спектрометра. На Рис. 3 пред-

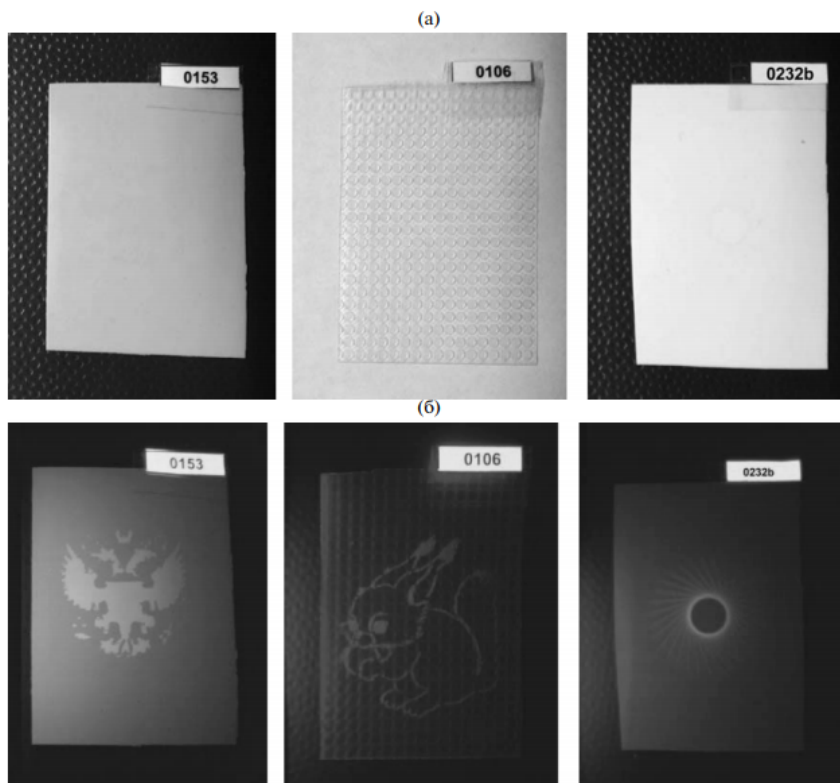


Рис. 1. Фотомодифицированные УФ-излучением KrF лазера (248 нм) образцы поливинилхлорида
(а) – модифицированные части образцов не обнаруживаются в видимом свете
(б) – те же образцы, наблюдаемые при УФ-освещении некогерентным источником



Рис. 2. Фотомодифицированный образец CD-диска
(а) – в видимом свете
(б) – при УФ-освещении некогерентным источником

ставлены спектры флуоресценции модифицированного (а) и исходного (б) образцов материала CD диска при УФ подсвете на длине волны 350 нм. Как видно из Рис. 3, спектральные различия, максимальные около $\lambda = 350$ нм, наблюдаются в УФ диапазоне 310–400 нм.

Варьируя длину волны УФ-излучения $\lambda_{\text{УФ}}$, которым подсвечивают образец, то есть, сканируя по длине волны УФ излучения подсвета, с помощью анализатора спектра (флуориметра) могут быть получены спектры флуоресценции

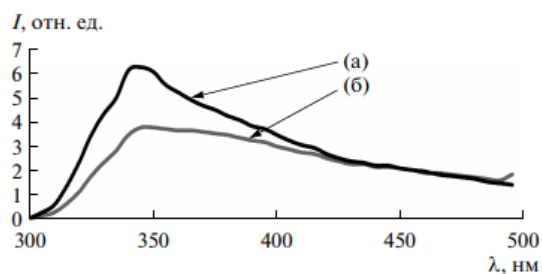


Рис. 3. Спектральный сигнал флуоресценции CD-диска из поликарбоната
а – модифицированного, б – исходного

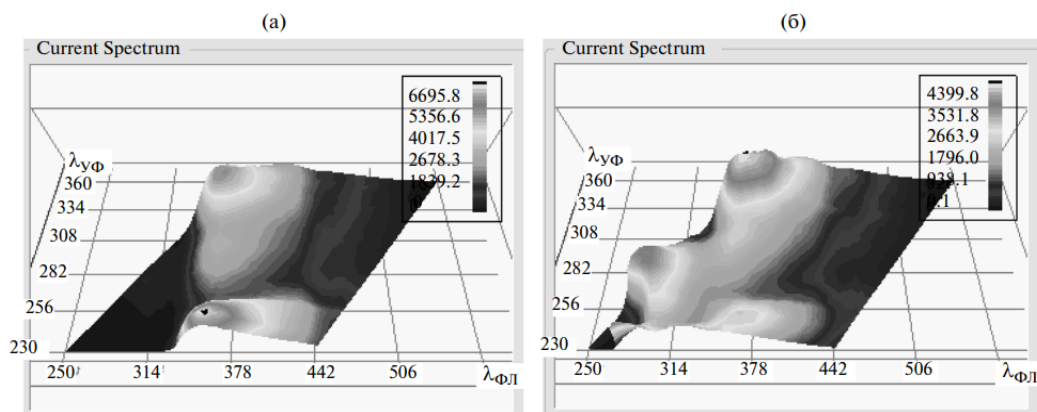


Рис. 4. 3D-спектры флуоресценции образца силиконовой резины

(а) – исходного, (б) – модифицированного УФ-излучением ХеСІ лазера (308 нм). По оси абсцисс – длина волны $\lambda_{ФЛ}$, на которой регистрируют флуоресценцию образца, по оси ординат – длина волны $\lambda_{УФ}$ УФ-излучения, которым подсвечивают образец, по оси аппликат – интенсивность $I(\lambda_{ФЛ}, \lambda_{УФ})$ флуоресценции образца на длине волны $\lambda_{ФЛ}$ при подсвете УФ-излучением с длиной волны $\lambda_{УФ}$.

$I(\lambda_{ФЛ})$ для каждой длины волны $\lambda_{УФ}$ УФ-излучения подсвета или 3D-спектр флуоресценции $I(\lambda_{ФЛ}, \lambda_{УФ})$. На Рис. 4 и Рис. 5 представлены 3D-спектры флуоресценции различных образцов, измеренные с помощью компактного анализатора спектра флуоресценции NTX2000, применяемого, в частности, для идентификации запрещенных наркотических веществ.

На Рис. 4 представлены 3D-спектры флуоресценции исходного и модифицированного лазерным УФ-излучением образцов силиконовой резины. 3D-спектры флуоресценции существенно различаются. У исходного образца максимум интенсивности флуоресценции $I(\lambda_{ФЛ}, \lambda_{УФ})_{\max} = 6700$ отн. ед. (365 нм, 235 нм) наблюдается при подсвете УФ-излучением с длиной волны 235 нм. У модифицированного

образца максимум интенсивности флуоресценции ниже по величине и наблюдается при подсвете УФ-излучением с длиной волны 335 нм: $I(\lambda_{ФЛ}, \lambda_{УФ})_{\max} = 4400$ отн. ед. (370 нм, 335 нм).

Следует отметить, что максимальные отличия скрытой маркировки наблюдаются в УФ-диапазоне, то есть наиболее полно могут быть выявлены приборными методами. 3D-спектры флуоресценции писчей бумаги (Рис. 5), в отличие от случая, показанного на Рис. 4, изменяются, в основном, не по форме, а только по интенсивности. При этом интенсивность флуоресценции зависит от дозы излучения, которым производится модификация материала.

Для исходного (Рис. 5а) и обработанного (Рис. 5б) образцов писчей бумаги максимум флуоресценции наблюдается на длине волны

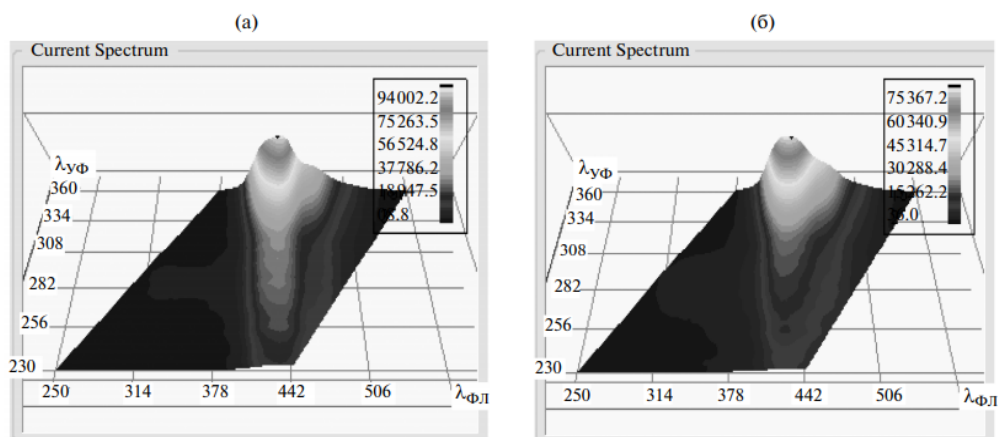


Рис. 5. 3D-спектры флуоресценции образцов писчей бумаги

(а) – исходного, (б) – модифицированного лазерным (351 нм) УФ-излучением

430 нм при облучении бумаги излучением с длиной волны 355 нм. Это позволяет использовать для визуализации скрытой маркировки простейшие компактные УФ лампы с максимумом излучения вблизи 360 нм.

В то же время, в ряде случаев можно визуализировать скрытое изображение способом, не требующем ни УФ освещения, ни сложных спектральных приборов и который может быть элементом дизайна изделия. Этот способ основан на том, что пространственно-селективное воздействие коротковолнового лазерного излучения вызывает изменение поверхностной энергии материала, и проявление рисунка скрытых изображений реализуется при селективной конденсации паров влаги на поверхности изделия вследствие различия величины поверхностной энергии обработанных и необработанных участков поверхности.

При определенном сочетании материала образца и условий воздействия коротковолнового излучения модификация материалов может быть реализована с различными свойствами, например, быть многоуровневой.

На Рис. 6 показана фотография пластикового (ПВХ) образца при освещении УФ-излучением, визуализирующим записанные на образце две скрытые структуры (одна светлее, а

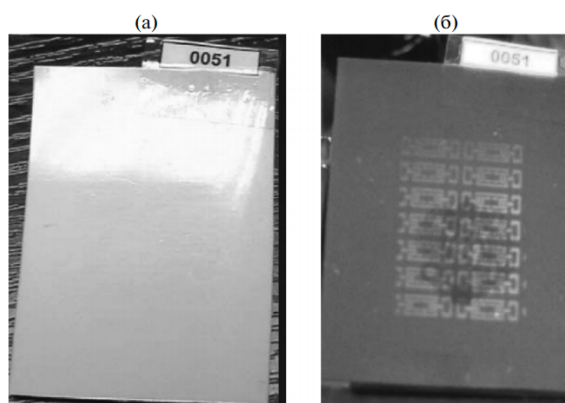


Рис. 6. Образец (ПВХ) с двумя структурами, сформированными лазерным излучением с различными длинами волн ($\lambda = 248$ нм и $\lambda = 351$ нм) при освещении видимым (а) и УФ-светом (б)

другая темнее необлученной части). Эти изображения (орнамент и герб), имеющие различную топологию, выполнены последовательно облучением образца монохроматическим излучением сначала с одной, а затем с другой длиной волны УФ-диапазона.

На Рис. 7 представлены фотографии образца писчей бумаги при дневном (а) и УФ освещении (б). Различные части бумаги в процессе модификации подвергались воздействию лазерного УФ излучения в течении различного

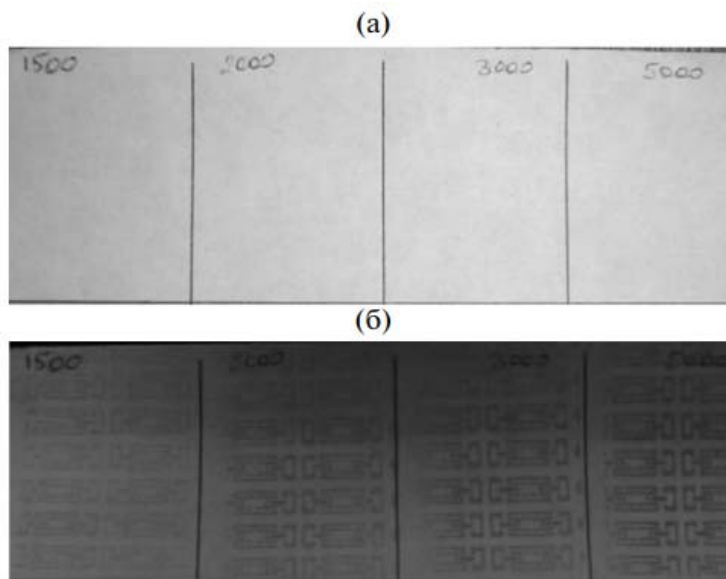


Рис. 7. Образец модифицированной УФ-излучением XeF лазера (351 нм) и состаренной за 5 лет писчей бумаги при освещении видимым (а) и УФ-светом (б)

Скрытое изображение сформировано (слева– направо) при 4-х разных экспозициях

времени, то есть с различной энергетической экспозицией. Из Рис. 7б видно, что скрытые изображения можно выполнять с варьируемым в широких пределах контрастом, зависящим от величины энергетической экспозиции. Следует отметить, что приведенные на Рис. 7 фотографии сделаны через пять лет после формирования в образце скрытых изображений, то есть для состаренного образца. Таким образом, результаты проведенных исследований свидетельствуют о большом времени жизни выполненных в соответствии с разработанной технологией стабильных высококачественных модифицированных структур, не визуализируемых в видимом свете и проявляющихся при освещении в УФ-диапазоне.

В образцах с достаточно высокой однородностью материала, в частности, в пластиковых картах были сформированы скрытые устойчивые идентификаторы с тонкой периодической

структурой, характерный размер которой составлял 10 мкм. Идентификаторы при их освещении пучком монохроматического излучения, в частности, от лазерной указки проявлялись в виде дифракции монохроматического пучка на тонкой периодической структуре модифицированной части образца. На Рис. 8. Изображен макет кредитной пластиковой карты с идентификатором.

Формирование потоками высокоэнергетичных фотонов тонких периодических структур модифицированного вещества диапазона масштаба в промышленных масштабах для изготовления интегральных схем осуществляется методом проекционной литографии с применением очень сложных и дорогих оптико-механических систем – нанолитографов.

На Рис. 9– Рис. 12 представлены результаты исследования спектров образцов бумаги с модифицированными свойствами, которые позво-



Рис. 8. Сформированная УФ излучением KrF лазера в пластиковой карте периодическая структура, наблюдаемая при дифракции на ней видимого света при скользящем падении излучения

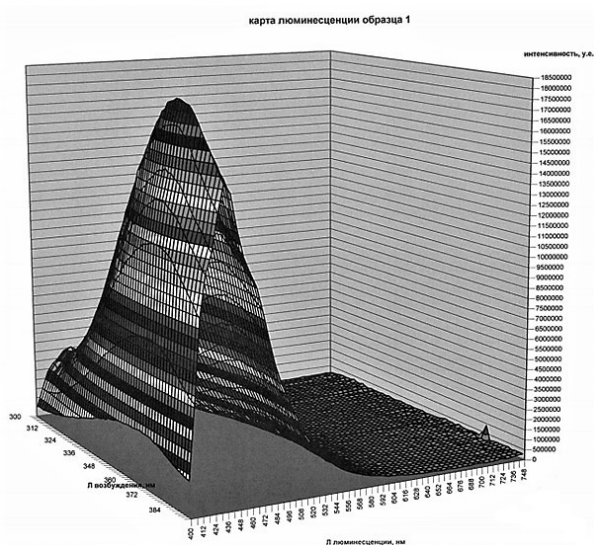


Рис. 9. Трёхмерный спектр образца бумаги №1 с модифицированными свойствами

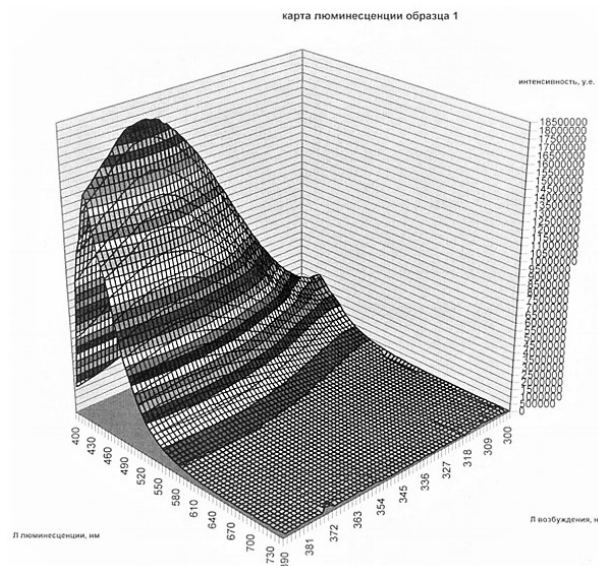


Рис. 10. Трёхмерный спектр образца бумаги №2 с модифицированными свойствами

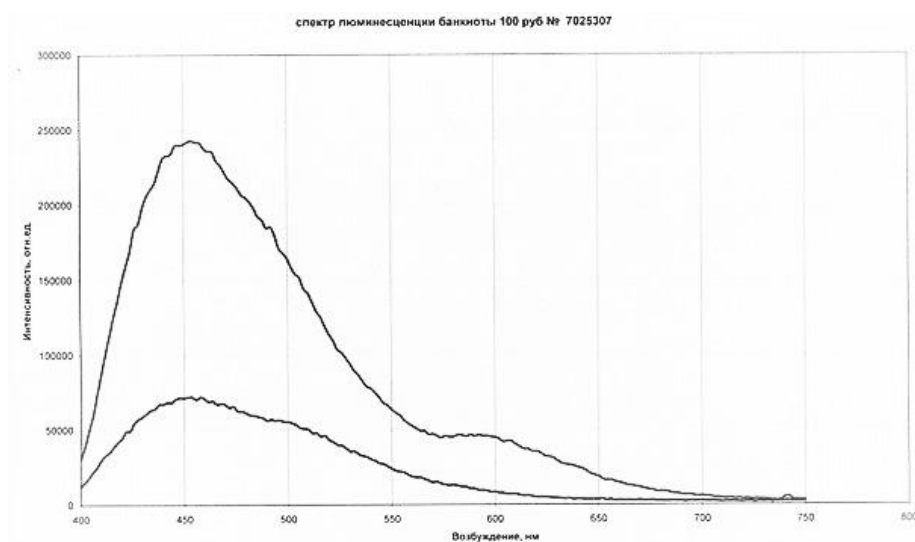


Рис. 11. Спектры возбуждения и люминесценции образца бумаги с модифицированными свойствами

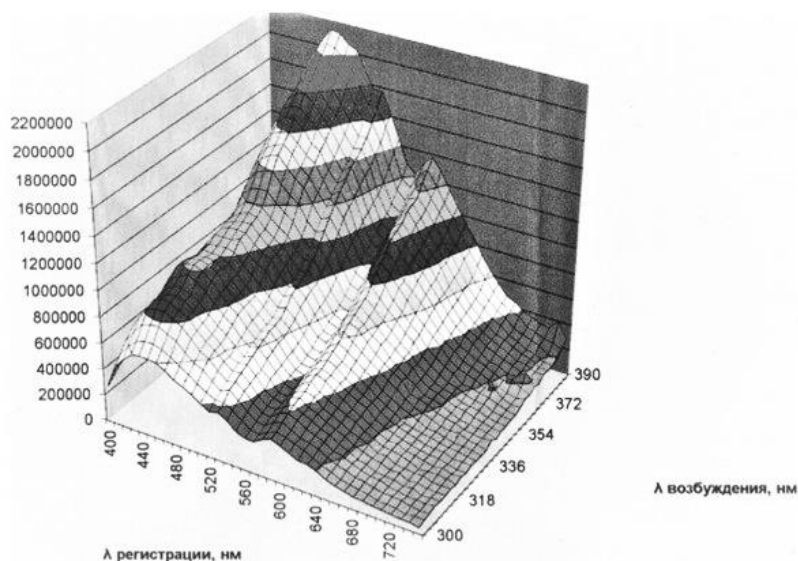


Рис. 12. Трёхмерный спектр возбуждения люминесценции образца бумаги с модифицированными свойствами

лили определить правильные режимы работы генераторов когерентного излучения.

Представленные выше результаты получены при обработке материалов в воздухе при нормальных условиях, но могут быть реализованы и в активных газовых средах, вступающих в фотоиницируемую химическую реакцию с веществом образца. Это показано в работе [5], в которой формирование изображений на поверхности электролюминесцентных полимеров осуществлялось за счет их селективной УФ инициируемой модификации в специальной атмосфере.

Заключение

Описанный в работе теоретический и экспериментальный подход по оценке возможностей квантовых эффектов в информационной технологии идентификации и установления подлинности различных изделий позволяет получить важную информацию о преимуществах предложенного метода. Основным результатом является реализация квантовых эффектов для трех групп материалов: неорганических, органических и биоорганических. Принципиально важной особенностью данного подхода является

ся то, что не требуется предварительная обработка материалов объектов; расходные материалы; когерентное излучение не опасно для человека и окружающей среды.

В работе были исследованы образцы различных материалов: кристаллы, полимерные плёнки, биоматериалы. Все образцы прошли испытания по технологиям искусственного старения в лабораториях ГОЗНАКа. Была установлена их стойкость к внешним воздействиям различной природы на протяжении десятков лет. Исследованы спектральные характеристики модифицированных материалов. Сформированы в образцах периодические структуры, которые отличаются высокой дифракционной эффективностью, что может способствовать их дистанционному обнаружению в условиях активных и пассивных помех [8].

Показана возможность кодирования информации идентификаторов, что исключает несанкционированный доступ к записанной информации и ошибки при идентификации и установлении подлинности. Разработаны алгоритмы кодирования и декодирования информации идентификаторов [9].

Очевидно, что описанный в работе когерентный метод формирования идентификаторов может быть использован и для решения других специальных задач. При этом, так как различные меры безопасности имеют различные уровни значимости с точки зрения безопасности государства, должны определяться в конкретных задачи.

Новые технические решения, основанные на квантовых эффектах для формирования идентификаторов позволяют достичь высокой скорости формирования информации порядка 900 мГб/с и с характерным временем доступа порядка 10 нс.

Показано, что данная информационная технология не портит внешний вид изделий, не изменяет габариты изделий и их вес.

Идентификаторы формируются когерентным электромагнитным излучением на атомно-молекулярном уровне в структуре материала изделия.

Обозначения

I ($\lambda_{\text{ФЛ}}$, $\lambda_{\text{УФ}}$) — интенсивность 3D-спектра флуоресценции, отн. ед.;

λ — длина волны лазера, нм;

$\lambda_{\text{УФ}}$ — длина волны ультрафиолетового облучения, нм;

$\lambda_{\text{ФЛ}}$ — длина волны флуоресценции, нм.

Литература

1. Бутковский А.Г., Самойленко Ю.А. Управление квантово-механическими процессами. М.: Наука, 1984. — 256 с.
2. Маклаков В.В. Разработка системы наноидентификаторов для предупреждения фальсификации промышленных изделий. В сборнике трудов Международной конференции ИПУ РАН «Проблемы управления безопасностью сложных систем», 2017 г. С. 624-629.
3. Маклаков В.В. «Способ маркировки объектов». Патент №2246759 от 20.02.2005.
4. Маклаков В.В. и др. Селективная модификация материалов неразрушающим потоком высокоэнергетичных фотонов. // Наноиндустрия, №5 (29), 2011, С. 66-70.
5. Маклаков В.В. «Устройство лазерной маркировки металлов и сплавов». Патент №155643 от 22.09.2015.
6. Маклаков В.В. «Устройство лазерной маркировки полимеров». Патент №160464 от 24.02.2016.
7. Маклаков В.В. и др. Фотохимическая технология формирования наномаркеров полимерных материалов. // Теоретические основы химической технологии, Т. 50, №1, 2016. С. 79-85.
8. Львович И.Я. и др. Математическое и программное обеспечение САПР дифракционных структур и антенн. Воронеж: Науч. кн., 2008. 95 С.
9. Логачев О.А. и др. Булевы функции в теории кодирования и криптологии. М: ЛЕНАНД. 2015. 576 с.

Маклаков Владимир Васильевич. Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова Российской Академии Наук (ИПУ РАН), г. Москва, Россия. Главный научный сотрудник, доктор технических наук, профессор. Автор научного открытия в области процессов управления. Количество печатных работ: более 200 (в т.ч. 7 изобретений; 5 монографий). Область научных интересов: проблемы управления; управление сложными системами; процессы в системах с распределенными параметрами. E-mail: vvmaklakov@mail.ru

Quantum effects in information technologies of identification and authentication

V.V. Maklakov

V. A. Trapeznikov Institute of Control Sciences of Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

A new photochemical technology for the formation of hidden markers - protective identifiers for various polymer products and other materials - has been developed. This technology allows you to code the identifiers of both individual products and batches of products of various types. Developed markers can be nanostructured and do not disrupt the appearance of products. The possibility of formation in various materials of hidden stable identifiers, which can be performed with a thin periodic structure, including on the basis of nanotechnology, is shown. The use of such markers implements the possibility of developing new design elements for products with multi-level encoding. The proposed technology combined with the development of methods for reading hidden and multilevel information can serve as a basis for the development of a new method of identification and protection against falsification of products, documents, media, valuable items.

Keywords: identification, ultraviolet radiation, lasers, modification, microstructures, nanostructures, latent image.

DOI 10.14357/20718632180309

References

1. Butkovskiy AG, Samoylenko Yu.A. Control of quantum mechanical processes. Moscow: Nauka, 1984, 256 p.
2. Maklakov V.V. Development of a system of nanoidentifikators to prevent the falsification of industrial products. In the collection of proceedings of the International Conference of the ISP RAS "Problems of managing the security of complex systems", 2017, pp. 624-629.
3. Maklakov V.V. "The way of marking objects." Patent №2246759 from 20.02.2005.
4. Maklakov V.V. and others. Selective modification of materials by non-destructive flow of high-energy photons. // Nanoindustry. № 5 (29), 2011, pp. 66-70.
5. Maklakov V.V. "Device for laser marking of metals and alloys". Patent №155643 of 22.09.2015.
6. Maklakov V.V. "Device for laser marking of polymers". Patent No. 160464 dated February 24, 2016.
7. Maklakov V.V. and others. Photochemical technology for the formation of nanomarkers of polymeric materials. // Theoretical basis of chemical technology, vol. 50, № 1, 2016, pp. 79-85.
8. Lvovich I.Ya. and others. Mathematical and software of CAD systems of diffraction structures and antennas. Voronezh: Scientific. book, 2008, 95 p.
9. Logachev O.A. Boolean functions in the theory of coding and cryptology. M: LENAND, 2015, 576 p.

Maklakov Vladimir Vasilyevich. Federal State Budgetary Institute of Science Institute of Control Sciences. V.A. Trapeznikova Russian Academy of Sciences (ISP RAS), Moscow, Russia. Chief Researcher, Doctor of Technical Sciences, Professor. Author of scientific discovery in the field of control science processes. The author of more than two hundred scientific works (including seven inventions, five monographs). Area of scientific interests: problems of control; control of complex systems; processes in systems with distributed parameters. E-mail: vvmaklakov@mail.ru