

УДК 658.012.658.382.2

УПРАВЛЕНИЕ КВАНТОВЫМИ ПРОЦЕССАМИ ВЫСОКОЭНЕРГЕТИЧНЫМИ ФОТОНАМИ ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ ИДЕНТИФИКАТОРОВ

В.В. Маклаков

Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН
Россия, 117997, Москва, Профсоюзная ул., 65
E-mail: vvmaklakov@mail.ru

Ключевые слова: квантовые процессы, управление, высокоэнергетичные фотоны, идентификация.

Аннотация: В работе рассматриваются квантовые процессы управляемые высокоэнергетичными фотонами для формирования идентификаторов установления подлинности различных объектов.

1. Введение

Безопасность сложных систем зависит от надежности ее элементов, которая определяется их качеством. Качество элементов детерминировано регламентом технологического процесса производителя. Масштабы подделок в настоящее время заставляют разрабатывать новые технологии идентификации и определения подлинности различных изделий. Существует множество технологий маркировки промышленных изделий и других объектов: механическая маркировка; электронные идентификаторы; химические технологии. Однако такие технические решения возможно воспроизвести. Поэтому актуальной задачей является разработка новых методов, технических решений и технологий идентификации.

2. Управление квантовыми процессами высокоэнергетичными фотонами для формирования идентификаторов подлинности объектов

Облучение когерентным излучением, в том числе, лазерным может приводить к модификации или травлению поверхности, значительному изменению смачивания, электропроводности, прочих поверхностных свойств различных материалов [1].

Рассматриваемый в настоящей работе подход к созданию новой технологии идентификации и защиты от фальсификации состоит в том, что различные материалы при облучении поглощают УФ-излучение и фотохимически модифицируются с образованием устойчивых скрытых изображений – идентификаторов.

Для проведения экспериментов использовали импульсно-периодические электро-разрядные 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.

При облучении образцов высокоэнергетичными фотонами 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 изображения формировались сканированием образца сфокусированным лазерным пучком.

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.

На рис. 1 представлен CD-диск, использованный в качестве образца.



Рис. 1. Фотомодифицированный образец CD-диска: (а) – в видимом свете, (б) – при УФ-освещении некогерентным источником.

В других случаях фотомодифицированные области регистрировали приборными методами (рис. 2, рис. 3).

Рис. 2 иллюстрирует спектральные характеристики сформированных в поликарбонате CD-диска идентификаторов, не визуализируемых при УФ подсвете, но наблюдаемых с помощью УФ-спектрометра. На рис. 2 представлены спектры флуоресценции модифицированного (а) и исходного (б) образцов материала CD-диска при УФ подсвете на длине волны 350 нм. Как видно из рис. 2, спектральные различия, максимальные около $\lambda = 350$ нм, наблюдаются в УФ диапазоне 310–400 нм [2–6].

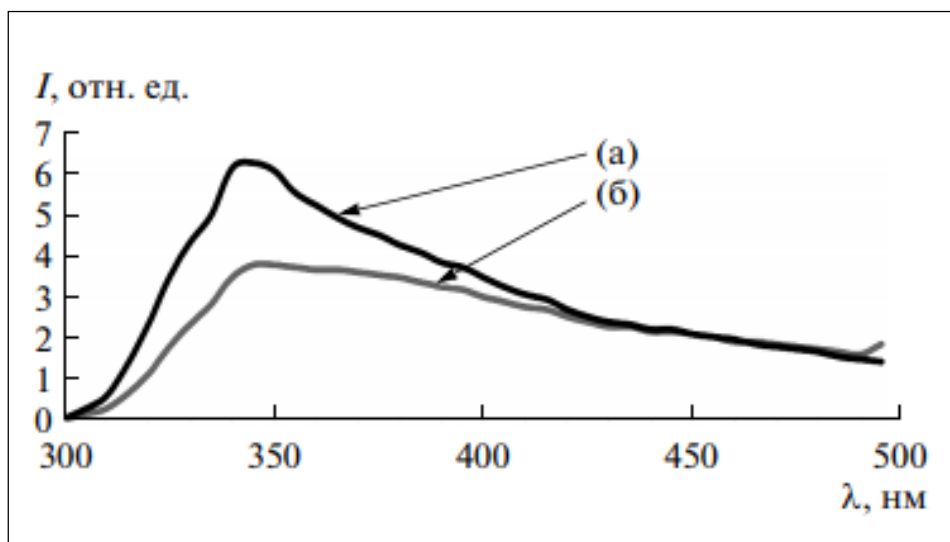


Рис. 2. Спектральный сигнал флуоресценции служащего материалом CD-диска поликарбоната: а – модифицированного, б – исходного.

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 $I(\lambda_{\text{ФЛ}})$ для каждой длины волны $\lambda_{\text{УФ}}$ УФ-излучения подсвета или 3D-спектр флуоресценции $I(\lambda_{\text{ФЛ}}, \lambda_{\text{УФ}})$ [7].

На рис. 3, 4 представлены 3D-спектры флуоресценции различных образцов, измеренные с помощью компактного анализатора спектра флуоресценции NTX2000, применяемого, в частности, для идентификации запрещенных наркотических веществ.

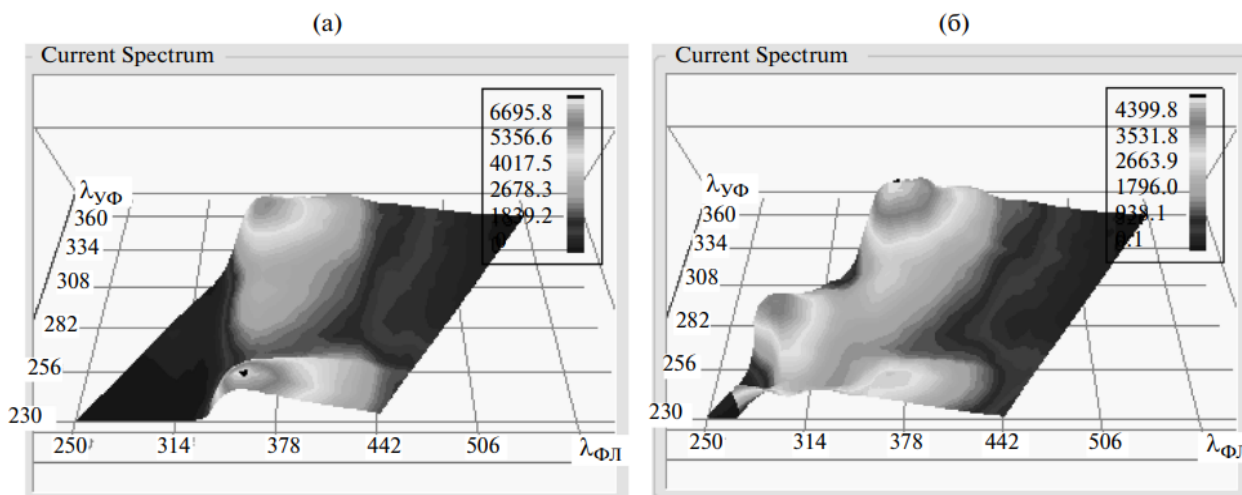


Рис. 3. 3D-спектры флуоресценции образца силиконовой резины: (а) – исходного, (б) – модифицированного УФ-излучением ХеСl лазера (308 нм). По оси абсцисс – длина волны $\lambda_{\text{ФЛ}}$, на которой регистрируют флуоресценцию образца, по оси ординат – длина волны $\lambda_{\text{УФ}}$ УФ-излучения, которым подсвечивают образец, по оси аппликат – интенсивность $I(\lambda_{\text{ФЛ}}, \lambda_{\text{УФ}})$ флуоресценции образца на длине волны $\lambda_{\text{ФЛ}}$ при подсвете УФ-излучением с длиной волны $\lambda_{\text{УФ}}$.

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

свете 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: $I(\lambda_{\text{ФЛ}}, \lambda_{\text{УФ}})_{\text{max}} = 4400$ 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.

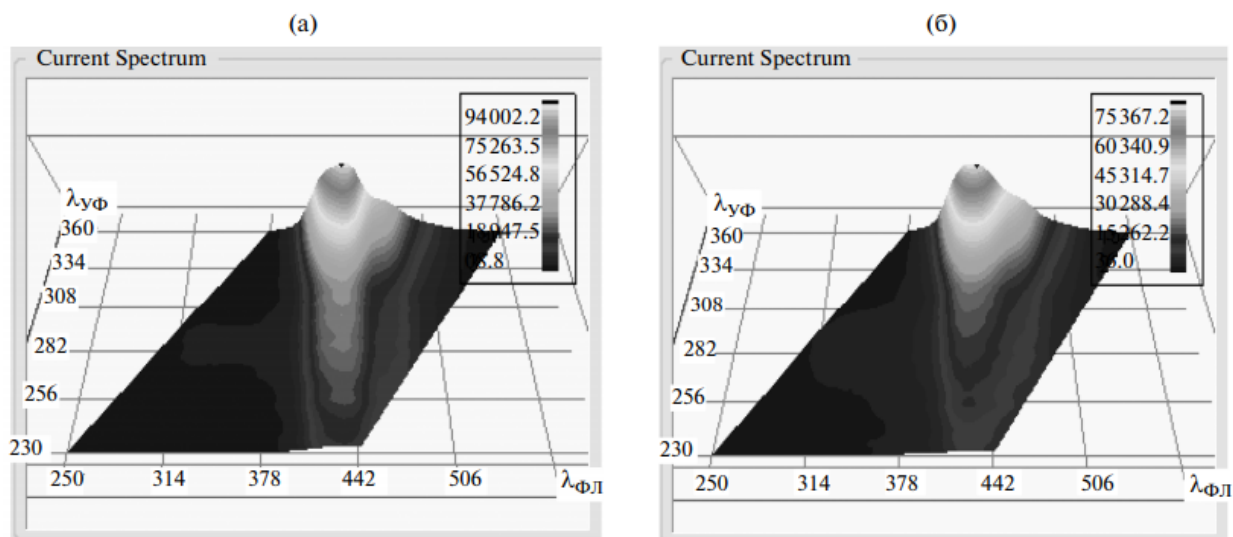


Рис. 4. 3D-спектры флуоресценции образцов писчей бумаги: (а) – исходного, (б) – модифицированного лазерным (351 нм) УФ-излучением.

Для исходного (рис. 3а) и обработанного (рис. 3б) образцов писчей бумаги максимум флуоресценции наблюдается на длине волны 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.

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

3. Выводы

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

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

Очевидно, что описанный в работе когерентный метод формирования идентификаторов может быть использован и для решения других специальных задач.

Различные уровни безопасности государства определяют сложность технологии идентификации.

Список литературы

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. 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. 2011. № 5 (29). 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. 2016. Т. 50, № 1. С. 79-85.