

Об использовании электроразрядных технологий для идентификации диэлектрических и металлических изделий

В. Д. Шкилев, А. М. Парамонов, А. В. Коваль

Институт прикладной физики АН Молдовы,
ул. Академическая, 5, г. Кишинев, MD-2028, Республика Молдова, e-mail: sasha.covali@mail.ru

Проанализированы пионерские работы по использованию мощных электронных потоков для формирования металлических и диэлектрических поверхностей. Обсуждаются некоторые общие закономерности их импульсного воздействия. Обоснована экономическая нецелесообразность применения ускорителей для идентификационных технологий. Приведены новые результаты по использованию электроразрядных технологий для создания универсальных идентификационных меток.

Ключевые слова: идентификация, электроразрядные технологии, искровые высоковольтные разряды, поверхностные разряды, матрица, идентификационная метка.

УДК 621.35+621.9.047

ВВЕДЕНИЕ

Развитие высоковольтной импульсной техники привело к созданию импульсных сильноточных ускорителей электронов (ИСУЭ) со взрывозащитными катодами полной энергией импульса до 100 Дж и мощностью до 10^{13} Вт [1–3]. Сильноточные электронные пучки (СЭП) с определенным диапазоном параметров стали применять в различных областях науки, техники и технологиях [4–9]. Экспериментаторы получили уникальный инструмент, позволяющий исследовать поведение вещества в экстремальных, недоступных ранее условиях.

Искровой разряд менее энергоемкий, чем пучки сильноточных ускорителей электронов с энергией импульса в единицы джоулей и длительностями существенно более продолжительными (порядка 10^{-3} с). Между использованием сильноточных импульсов электронов и электроразрядной технологией можно обнаружить много общих закономерностей.

Изначально с помощью электроразрядной технологии обрабатывали изделия из металла [10–11].

Однако со временем у электроразрядной технологии была обнаружена новая область применения – идентификация бумажных документов, в том числе и для информационной защиты национальной валюты [12–14] и решения ряда проблем, стоящих перед банковской системой [15]. Для этого на защищаемом бумажном документе с помощью искрового разряда рядом с цифровым кодом изделия наносился набор перфораций с последующим снятием и сохранением информации о площади и форме этих перфораций.

Результаты работ, проведенных В.И. Олешко в Томском политехническом университете с импульсами мощных электронных потоков, направленных на металлические изделия [6] (рис. 1), инициировали более широкое применение импульсных технологий.

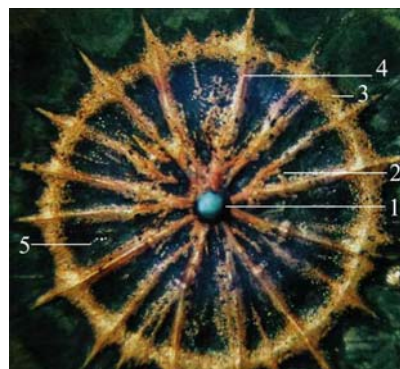


Рис. 1. Импульсное воздействие мощных электронных потоков, направленных на металлическое изделие: 1 – место попадания электронного пучка в металл; 2 и 3 – малое и большое интерференционные кольца соответственно; 4 – радиальные лучи; 5 – дорожки из последовательно-дискретных испарившихся участков металла. Диаметр фигуры – 8 мм.

Картины, полученные при этом, имеют радиальные лучи, аналогичные тем, что наблюдались от воздействия метеоритов на Меркурии, Луне и других планетах. Это позволяет предполагать об общих закономерностях импульсного воздействия мощных потоков энергии на материю. При облучении мощными наносекундными импульсами электронов зарегистрированы ветвистые разряды диэлектриков [6] (рис. 2). Это можно рассматривать как один из путей технологии изготовления идентификационных меток.

Известно, что в квантовой механике вероятность попадания отдельного электрона (при про-

хождении через две щели) в ту или иную часть мишени описывается суперпозицией состояний. Это означает, что электрон (точнее, электрон не как локальный объект, а как квантовая суперпозиция различных компонент волновой функции) может одновременно проходить через две щели в непрозрачном экране. Суперпозиционные состояния описываются посредством так называемой волновой функции, которую также называют вектором состояния в гильбертовом пространстве. На мишени мы получаем не сумму двух вероятностей от прохождения отдельных щелей, а интерференционную картину от двух (нескольких) щелей.

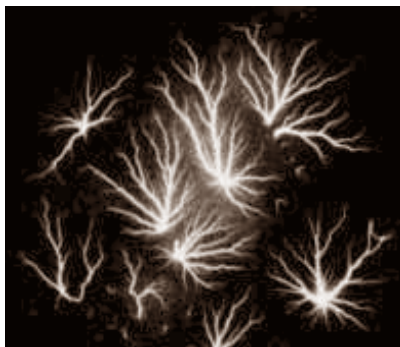


Рис. 2. Ветвистые разряды в диэлектрике, полученные под действием мощных наносекундных пучков электронов. Размер зоны – 30–60 мкм.

Гипотеза о том, что причиной возникновения интерференционных волн на мишени является взаимодействие электронов между собой, давно экспериментально опровергнута. Действительно, когда на мишень выпускались отдельные электроны с интервалом в тридцать минут (то есть выбиралось время, за которое отдельный электрон гарантированно долетит от источника электронов до мишени), на ней возникала интерференционная картина.

Возникает интерференция, как показал В.И. Олешко [6], и при импульсе, когда в пучке летят одновременно миллиарды электронов. Аналогичные результаты были и при электроискровом легировании металла [7].

Однако зафиксированные интерференционные кольца (рис. 3) не имели должного объяснения. Примечательно, что у обнаруженных морфологических различий в центре попадания искрового разряда и на периферии различная кристаллическая структура, что также может быть использовано в качестве устойчивых идентификационных признаков. Однако во многих случаях достаточно ограничиться визуальной картиной матрицы, так как она достаточно стохастична. Для особо ценных и ответственных изделий можно воспользоваться и идентификационными признаками на основе элементного и фазового составов меток, в том числе и с помощью применения износостойких покрытий или покрытия

меток прозрачным материалом. В частности, в основу такого подхода можно положить спектральный способ идентификации, получивший евразийский патент.

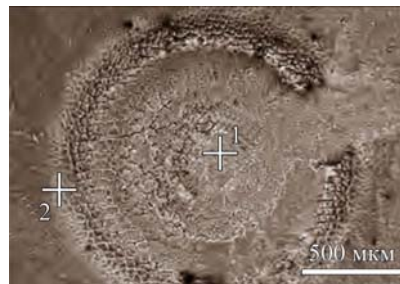


Рис. 3. Интерференционные кольца на металле, возникающие при электроискровом легировании: 1 – центр попадания искрового разряда; 2 – периферийный участок.

Несмотря на множество получаемых идентификационных признаков, для целей получения идентификационных меток технологии, основанные на использовании ускорителей, малоприменимы хотя бы по экономическим соображениям.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Исследование в области информационной защиты металлических изделий с помощью электроразрядных технологий сдерживалось из-за неопределенностей регистрации границы пятен на идентифицируемой детали и не позволяющих точно определять площадь и форму перфораций. Высокая точность снятия границы реализуется при сканировании перфораций на просвет. С переходом на пленочные металлические идентификационные метки часть таких проблем была снята. Однако при этом возникли трудности с нанесением нанопленок на металлические массивные изделия. При использовании более толстых (свыше 30 микрон) металлических пленок возникает другая проблема – искровой разряд не обеспечивает нужного количества идентификационных признаков из-за того, что он попадает в одно и то же место. Одна, даже относительно большая, перфорация не обеспечивает требуемой информационной защиты изделия.

При обработке бумажных пленок электрическим разрядом образуется множество электроразрядных перфораций (рис. 4). Наличие 100 перфораций на площади в 1 см^2 обеспечивает вероятность повторения в 10^{-350} , что подтверждает бесконечную неповторимость такой метки. Как правило, такое количество перфораций удавалось сделать за 5–7 минут. Этот уровень идентификации уже достигнут на бумажных носителях [12–14], а областью применения такой технологии может стать информационная защита финансовых документов, включая производство

национальной валюты, векселей, коммерческих контрактов и т.д.

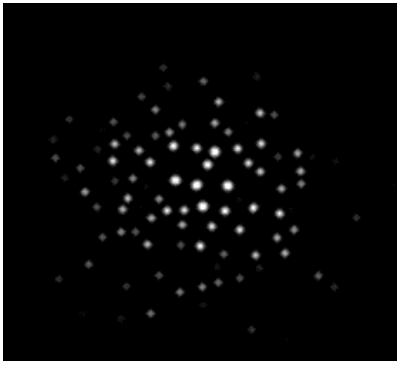


Рис. 4. Электроразрядная матрица на бумажном носителе с перфорациями, полученная от множества искровых разрядов.

Желание получить аналогичный результат на металлических пленках привело к обработке электрическим разрядом этих пленок с двусторонним диэлектрическим покрытием.

Первый же одиночный искровой разряд, возбуждающий разветвленный барьерный разряд на металлической пленке с двусторонним диэлектрическим покрытием, обусловил создание неповторимой матрицы, из которой можно получить множество меток с уникальным набором идентификационных признаков. Вместо перфораций был получен набор точечных и полосчато-дискретных испарившихся участков на металлической пленке.

Эксперимент проводился на схеме, изображенной на рис. 5.

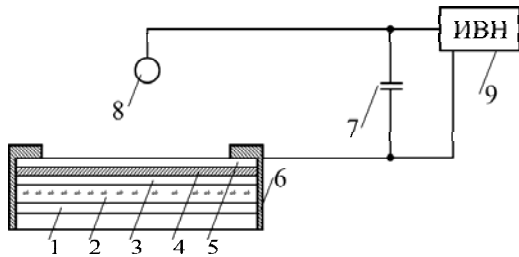


Рис. 5. Схема экспериментальной установки для изучения барьерного разряда: 1 – металлическая подложка; 2 – стекло; 3 – диэлектрическая пленка; 4 – металлическая пленка; 5 – диэлектрическая пленка (носитель состоит из элементов 3–6 – кольцевой электрод); 7 – высоковольтный конденсатор; 8 – высоковольтный шаровой электрод; 9 – источник высокого напряжения. Емкость высоковольтного конденсатора – 1000 пФ.

За считанные секунды можно изготовить десятки матриц для идентификационных меток. Другими словами, при таком подходе производительность при создании идентификационных меток возрастает в тысячи раз. На рис. 6 приведена одна из десятков матриц, изготовленных при одиночном искровом разряде, возбуждающем разветвленный барьерный разряд на металлической пленке. Данный эффект эквидистантности проявляется на десятках меток, получен-

ных при одиночном разряде, и наблюдается от эксперимента к эксперименту.

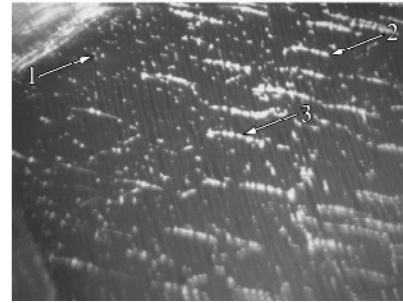


Рис. 6. Идентификационная матрица, полученная при одиночном искровом разряде, возбуждающем разветвленный барьерный разряд на металлической пленке: 1 – точечные испарения; 2 – полосчато-дискретные участки испарения; 3 – точечные испарения на полосчато-дискретных участках испарения (x20).

Помимо идентификационного подхода, этот процесс представляет интерес для общефизического понимания энерговыделения при электро-технологиях, что потребует дополнительных исследований.

Методология идентификационных подходов, основанная только на цифровых подходах, давно не является серьезной преградой для представителей теневой экономики. Они, закупая установки для нанесения цифровых кодов, успешно наносят их на всю свою контрафактную продукцию. По сути, это всего лишь имитация идентификации. Истинная идентификация начинается с изготовления метки, которую нельзя повторить дважды даже разработчику технологии. И такая идентификация строится на единстве воспроизводимого цифрового кода и невозпроизводимой матрицы, получаемой с помощью одиночного разряда.

Одиночный разряд сопровождался протеканием тока основного разряда по более электропроводящим участкам и зарядкой прилегающих зон диэлектрической пленки и последующим образованием испарившихся следов от микроударов с появлением на металлической пленке множество как точечных, так и протяженных линейных полос. Особый интерес вызывают точечные образования от энерговыделения на линейных полосах. Режим испарения металлических пленок носит квантовый характер. Оказывается, что испарению энергетически выгоднее реализовываться не в режиме создания сплошной испарившейся полосы, а дискретно (поточно, то есть квантово).

Многообразие электроразрядных технологий дает возможность разработать принципиально новые идентификационные технологии. Появление металлических ныряющих пленок на многих денежных купюрах, в том числе и на евро, позволяет создавать базы данных на более устойчи-

вой информационной основе. Как известно, у бумажного носителя, имеющего перфорации, есть существенный недостаток – перфорации обладают свойством затираться. В этом смысле металлическая пленка – более надежный носитель информации.

При обработке металлической пленки с односторонним диэлектрическим покрытием оказалось возможным реализовать поверхностный разряд с удивительно разнообразным набором испарившихся участков.

При этом использовалась схема установки, представленной на рис. 7.

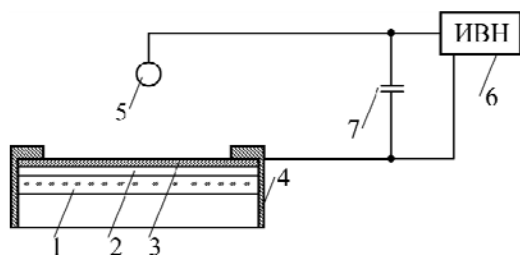


Рис. 7. Схема экспериментальной установки для исследования поверхностного разряда: 1 – стеклянная подложка; 2 – диэлектрическая пленка; 3 – металлическая пленка; 4 – кольцевой электрод; 5 – высоковольтный шаровой электрод; 6 – источник высокого напряжения; 7 – высоковольтный конденсатор. Емкость конденсатора менялась от 470 до 1000 пФ.

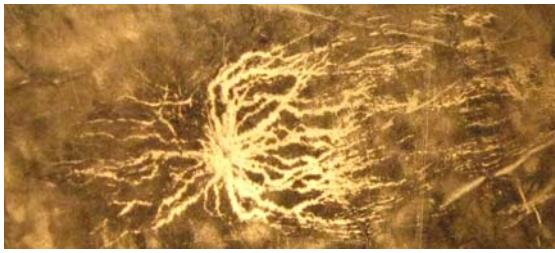
При одинаковых энергетических и геометрических параметрах обработка пленки из одного материала давала принципиально другой рисунок от поверхностного разряда (рис. 8).

Следует лишь на матрицу нанести цифровой код и виртуальную информационную сетку (рис. 9). Метку с таким набором признаков можно использовать для создания базы данных многомиллионных объектов и изготавливать в том числе принципиально новые документы и банковские карточки с вкладышем, содержащим универсальную метку. В отличие от банковских карточек с магнитной лентой и чипом, которая подвергается, особенно в последнее время, хакерским атакам с применением считывающих устройств, снять информацию с такой электро-разрядной метки невозможно. Поскольку такая метка проверяется на истинность через базу данных, а ее саму невозможно повторить дважды, технология представляет интерес для осуществления банковских операций. Можно отметить, что идентификационная метка обладает таким большим количеством невоспроизводимых идентификационных признаков, что ее можно разбить на более мелкие метки, а базу данных строить не на мелких идентификационных метках, а на обобщенных матрицах, содержащих этот набор. Мелкие идентификационные метки нужно также совмещать с новым набором цифровых кодов.

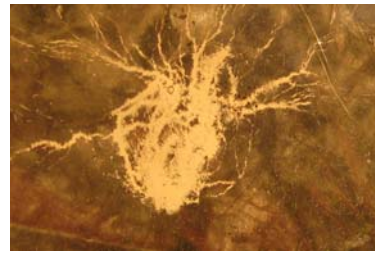
В противном случае в базе данных может возникнуть проблема, связанная с поиском нужного объекта только по его образу. Сам процесс идентификации основан на совмещении воспроизводимых цифровых кодов и невоспроизводимых электроразрядных матриц. В базу данных входят по цифровому коду, а процесс идентификации осуществляется путем побитового сравнения невоспроизводимой электроразрядной матрицы на объекте с той же матрицей в базе данных. При их совпадении объект признается легальным продуктом, а в случае мельчайших расхождений, которые регистрируются автоматически, признается контрафактным. Государственная база данных объектной идентификации строится путем составления баз данных предприятиями, выпускающими свою промышленную продукцию и устанавливающими на нее невоспроизводимые идентификационные метки. Автоматизированная система управления государственной безопасности и финансовой дисциплины, действующая сегодня во многих странах, содержит только внешний контур управления, состоящий из базы данных: сертификатов соответствия, защитных торговых марок, SMART-карт и выпуска продукции на предприятиях. Однако из-за отсутствия внутреннего контура управления (основанного на невоспроизводимых идентификационных технологиях) и согласования внешнего и внутренних контуров управления система способна обеспечить только уровень документальной идентификации. К сожалению, этот уровень доступен для фальсификации теневыми структурами, что делает всю систему малоэффективной.

Что касается документальной идентификации, то это сопровождающие материальный ресурс документы, подделка которых не является препятствием для теневой структуры. Объективная идентификация – это информация, получаемая непосредственно от материального ресурса в виде его фазового портрета или невоспроизводимой идентификационной метки (см. рис. 9). Для наведения порядка в экономике предлагается автоматизированная система управления государственной безопасности и финансовой дисциплины, содержащая внешний контур управления, состоящий из базы данных: сертификатов соответствия, защитных торговых марок, смарт-карт и выпуска продукции на предприятиях.

Особенность предлагаемой автоматизированной системы управления состоит в том, что на базе невоспроизводимых идентификационных меток создается внутренний контур управления, основанный на применении универсальных идентификационных меток, а контроль и учет материальных ресурсов осуществляют путем сопоставления информации по документальной



(a)



(б)

Рис. 8. Идентификационные матрицы, полученные при одиночном поверхностном разряде. Размер пятна – 5–7 мм.



Рис. 9. Идентификационная метка от одиночного поверхностного разряда: 1 – матрица, полученная с помощью уникального поверхностного разряда; 2 – буквенно-цифровой код; 3 – информационная сетка. Размер пятна – 5–7 мм.

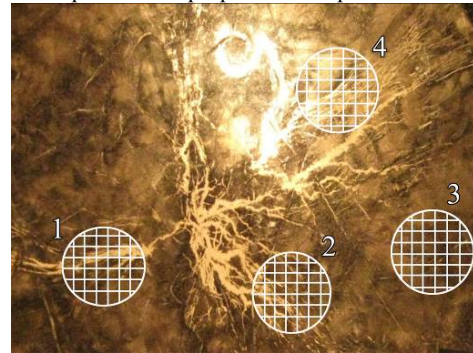


Рис. 10. Идентификационная матрица от нескольких поверхностных разрядов: 1–4 – матрицы, используемые для четырех разных идентификационных меток. Размер пятна – 8 мм.

идентификации, циркулирующей по внешнему контуру управления, с информацией по объективной идентификации, циркулирующей по внутреннему контуру управления.

На произведенной предприятием продукции должна стоять универсальная идентификационная метка, а при сдаче отчета об объеме произведенной продукции одновременно сдавать базу данных идентификационных меток в государственную систему. Далеко не всякое предприятие может позволить себе такую технологию. Ставить такую метку на каждый коробок спичек нет смысла. Объектом такой системы идентификации в первую очередь должны стать предприятия, выпускающие дорогостоящее оборудование, установка на котором этой метки практически не скажется на его стоимости. Первым шагом в данном направлении может стать наведение порядка в области контроля базы данных стрелкового оружия в государстве.

В случае осуществления нескольких поверхностных разрядов на одной и той же металлической пленке на последней образуется несколько участков с разветвленной электрозарядной матрицей (рис. 10), что позволяет каждую из них использовать как основу будущей идентификационной метки.

Идентификационную метку можно создавать и непосредственно на металлическом изделии. В таком случае матрица формируется с некоторым углублением в металлическом изделии (рис. 11). Такое углубление весьма полезно по простой причине – это положительно сказывается на хра-

нении информации на матрице. В случае трения углубленный участок сохраняет всю информацию в неприкосновенности. При химическом воздействии это углубление можно заполнить прозрачным материалом, например из химически стойкого стекла, сохранив возможность снятия информации через этот прозрачный материал.

Анализ этой матрицы (рис. 11) показывает, что внутри ее площадки идентификационные признаки трудно читаемые, зато на границе с поверхностью изделия их огромное количество (рис. 12). На рис. 11 двумя стрелками обозначен участок границы матрицы, который укрупнен и приведен на рис. 12. Весь периметр границы матрицы можно разбить на N участков, которые могут быть использованы в качестве идентификационной матрицы для N изделий. N идентификационных матриц можно установить и на одном изделии из металла. В этом случае каждая матрица должна иметь свой индивидуальный цифровой код. Такой подход может быть полезен, если металлическое изделие проходит ряд технологических операций (закалка, отпуск, полировка и т.д.). При таком подходе вся технологическая документация, создаваемая сегодня на бумажном носителе, может быть перенесена на металлическое изделие, а в цифровом коде отражена информация о сроке исполнения операции, номере бригады, осуществлявшей ее, и даже температуре выдержки изделия, например при отжиге или закалке. Другими словами, с помощью идентификационных подходов можно существенно повысить технологическую дисциплину на производстве, поскольку станет извест-

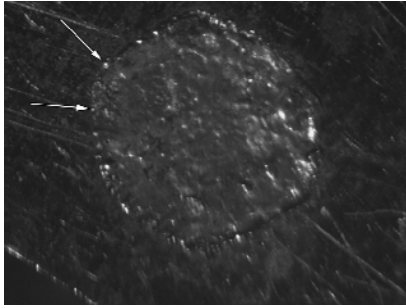


Рис. 11. Электроразрядная матрица, сформированная непосредственно на изделии из металла ($\times 20$).

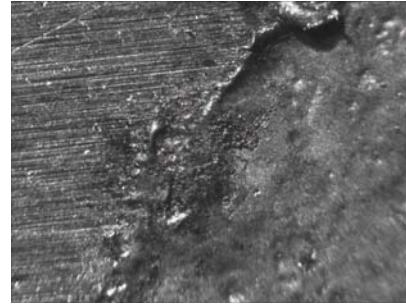


Рис. 12. Часть границы электроразрядной матрицы, сформированной непосредственно на изделии из металла ($\times 400$).

ным персонально каждый участник изготовления изделия. В атомной промышленности при осуществлении любого сварного шва в технологическую карту вносятся фамилия сварщика и номер смены, при которой была произведена эта операция. Аналогичные операции внедряются и в других отраслях промышленности, изготавливающей сложные и ответственные объекты.

Этот результат, который нельзя повторить дважды, позволит по-иному подойти к созданию новых технологий по изготовлению индивидуальных штрих кодов. В настоящее время штрих коды предназначены только для оценки класса товара и для ускоренного расчета за товар, но не способны отразить индивидуальность изделия.

Построение идентификационной базы данных должно сопровождаться проведением экономического анализа. Однако превращать любую идентификационную лабораторию на заводе в научно-исследовательский институт с дорогостоящими приборами экономически нецелесообразно. Нужна методика экономического обоснования применения идентификационных меток со стоимостью, не превышающей 1% стоимости изготовления металлического изделия.

Приведенные данные показывают, что наука начинается не только с воспроизводимого эксперимента, поскольку электроразрядные технологии дают возможность для внешне абсолютно одинаковых условий получать совершенно разные результаты. Для разрядных технологий предпочтительно пользоваться другим тезисом известного философа Гераклита: «Дважды в одну и ту же реку войти невозможно», который прекрасно дополняется не менее известным в квантовой механике принципом запрета Паули.

ВЫВОДЫ

1. Установлено, что высоковольтный поверхностный искровой разряд вдоль диэлектрической поверхности с металлическим напылением на противоположной стороне расходует энергию как на сам разряд, так и на повышение потенциала диэлектрика в зонах, прилегающих к каналу разряда.

2. Энергия, запасенная в диэлектрике, расходуется на барьерные разряды, приводящие к испарению металлической пленки в виде точечных и полосчато-дискретных участков.

3. Полосчато-дискретные участки испарившегося металла располагаются эквидистантно относительно друг друга.

4. Полученные результаты могут быть использованы при создании неповторяющихся универсальных идентификационных меток.

ЛИТЕРАТУРА

1. Месяц Г.А. *Генерирование мощных наносекундных импульсов*. М.: Атомиздат, 1974. 303 с.
2. Диденко А.Н., Григорьев В.П., Усов Ю.П. *Мощные электронные пучки и их применение*. М.: Атомиздат, 1977. 280 с.
3. Бугаев С.П., Литвинов Е.А., Месяц Г.А., Проскуровский Д.И. Взрывная эмиссия электронов. *УФН*. 1975, (1), 101–121.
4. Абрамян Е.А., Альтеркоп Б.А., Кулешов Г.Д. *Интенсивные электронные пучки*. М.: Энергоатомиздат, 1984. 232 с.
5. Басов Н.Г., Данилычев В.А. Лазеры на конденсированных и сжатых газах. *УФН*. 1986, **148**(1), 55–100.
6. Олешко В.И., Штанько В.Ф. Механизм разрушения высокоомных материалов под действием мощных электронных пучков наносекундной длительности. *ФТТ*. 1987, **29**(2), 320–324.
7. Гордиенко А.Д., Верхотуров Л.А., Достовалов В.А., Жевтун Е.С., Панин П.С., Коневцов Л.А., Шабалин И.А. Электрофизическая модель эрозии электродов при импульсном энергетическом воздействии. *ЭОМ*. 2011, **47**(3), 15–27.
8. *Сильноточные импульсные электронные пучки в технологии*. Под ред. Г.А. Месяца. Новосибирск: Наука, 1983. 169 с.
9. Бойко В.И., Евстигнеев В.В. *Введение в физику взаимодействия сильноточных пучков заряженных частиц с веществом*. М.: Энергоатомиздат, 1988. 136 с.
10. Лазаренко Б.Р., Лазаренко Н.И. *Физика искрового способа обработки металлов*. М.: ЦБТИ МЭИ СССР, 1946. 76 с.

11. Лазаренко Б.Р., Лазаренко Н.И. *Электрическая эрозия металлов*. М.: Госэнергоиздат, 1946. (2), 32 с.
12. Шкилев В.Д., Адамчук А.Н., Мартынюк Н.П. Технология защиты документов государственной важности. *Вестник Российской академии естественных наук*. 2009, 9(3), 30–34.
13. Шкилев В.Д., Адамчук А.Н., Недеогло В.Г. Электроразрядная технология защиты документов особой важности (строгой отчетности). *ЭОМ*. 2008, (2), 4–10.
14. Шкилев В.Д., Адамчук А.Н. О новых подходах в формировании баз данных идентификационных меток, полученных электроразрядным способом. *ЭОМ*. 2009, (2), 4–8.
15. Шкилев В.Д., Сауляк А.И. О философском понимании проблем современной банковской системы. *Исторические, философские, политические и*

юридические науки, культурология и искусствоведение. Вопросы теории и практики. 2010, (1), 199–215.

Поступила 14.01.14

После доработки 02.02.15

Summary

This paper analyzes the pioneering works on the use of powerful electron beams in the formation of metal and dielectric surfaces. Some general regularities of pulsed effects of high-power fluxes of energy are discussed. Economic inexpediency of the use of accelerators for identification technologies is shown. New results on the use of electric discharge technologies to create universal identification marks are presented.

Keywords: identification, electric discharge technology, spark high-voltage discharges, surface discharges, matrix, identification mark.