

ГИБРИДНАЯ ЛАЗЕРНАЯ СИСТЕМА ДЛЯ СОЗДАНИЯ ПЕЧАТНОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ

Карина Валерьевна Баталова

Новосибирский государственный технический университет, 630073, Россия, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20, магистрант кафедры автоматики, тел. (999)462-77-36, e-mail: karina.batalova123@gmail.com

Яна Викторовна Черткова

Новосибирский государственный технический университет, 630073, Россия, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20, магистрант кафедры автоматики, тел. (983)128-32-91, e-mail: yaneeka2209@gmail.com

Денис Николаевич Катасонов

Институт автоматики и электрометрии Сибирского отделения Российской академии наук, 630090, Россия, г. Новосибирск, пр. Академика Коптюга, 1, кандидат технических наук, научный сотрудник лаборатории лазерной графики, тел. (923)233-11-05, e-mail: katasonovdenis@ya.ru

В данной статье рассматривается проблема печати токопроводящих схем на произвольных подложках. В материале приведен обзор современных технологий для решения данной проблемы. Авторы приводят описание гибридной лазерной системы, решающей рассматриваемую проблему. Данное устройство использует современные технологии и материалы, которые показывают хорошие результаты в исследованиях. Также предоставлено краткое описание программного обеспечения для подготовки данных для рассматриваемой системы.

Ключевые слова: лазерное спекание, токопроводящие чернила, прямая печать, диспенсерные системы, печатная электроника

HYBRID LASER SYSTEM FOR CREATING PRINTED ELECTRONICS

Karina V. Batalova

Novosibirsk State Technical University, 20, K. Marksa Prospekt, Novosibirsk, 630073, Russia, Graduate, Department of Automation, phone: (999)462-77-36, e-mail: karina.batalova123@gmail.com

Yana V. Chertkova

Novosibirsk State Technical University, 20, K. Marksa Prospekt, Novosibirsk, 630073, Russia, Graduate, Department of Automation, phone: (983)128-32-91, e-mail: yaneeka2209@gmail.com

Denis N. Katasonov

Institute of Automation and Electrometry of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 1, Koptuyuga Prospekt, Novosibirsk, 630090, Russia, Ph. D., Researcher, Laboratory of Laser Graphics, phone: (923)233-11-05, e-mail: katasonovdenis@ya.ru

This article deals with the problem of printing current-conducting circuits on various substrates. The article provides an overview of modern technologies for solving this problem. The author describes a hybrid laser system that solves the problem under consideration. This device uses modern technologies and materials that show good results in research. A brief description of the software for preparing data for this system is also provided.

Keywords: laser sintering, conductive ink, direct printing, dispenser systems, printed electronics

Введение

В настоящее время все активнее происходит внедрение технологий печатной электроники на криволинейных поверхностях в промышленное производство для разных задач. Такие технологии открывают новые возможности проектирования проводящих схем в электронной промышленности, что позволяет создать более простую конструкцию для электронных устройств, а также повысить их надежность.

Привлекательность печатных технологий для изготовления электроники связана главным образом с огромным техническим и экономическим потенциалом. Печатная электроника имеет упрощенный технологический процесс изготовления по сравнению с обычными печатными платами, также играет роль возможность реализации новых или более совершенных функциональных возможностей. Однако печатная электроника не заменяет стандартные печатные платы, а скорее дополняет их.

Существует несколько технологических процессов для формирования токопроводящего рисунка на криволинейной подложке [1–4]. Выбор наиболее подходящей технологии всегда предполагает оценку требований, намеченной области применения и степени сложности устройства.

Наша гибридная установка использует симбиоз технологий, которые позволяют не только формировать токопроводящий рисунок на двумерной и трехмерной подложке, но и дают возможность изготавливать данные подложки, а также создавать многослойные печатные платы в одном устройстве.

Обзор методов для создания токопроводящих схем на произвольных подложках

Рассматриваемые в данной статье технологии для создания токопроводящих схем на произвольных подложках можно разделить на две большие группы: трехмерные системы на пластиках (3D-MID) и печатная электроника. Каждая из этих групп имеет свои преимущества и недостатки, поэтому для каждого устройства нужно рассматривать установленные требования: сложность, требуемое время производства, требования к точности, используемые материалы и т. п.

Трехмерные системы на пластиках представляют собой 3D основание из литого высокотемпературного термопласта, на котором сформированы проводники и контактные площадки. 3D-MID структуры в основном используют 2 технологии производства: прямое лазерное структурирование (LDS) и двухстадийную заливку (2S) [5]. В качестве исходного материала для LDS используются литые термопластиковые основания, легированные металлическим комплексом. Лазерный луч активирует на поверхности полимера дорожку с точными размерами и шероховатой поверхностью. В результате на поверхности пластика остаются металлические частицы, которые становятся центрами кристаллизации для дальнейших химических процессов осаждения металлов. Обычно для этих процессов используются медь, никель и золото [6]. Процесс для 2S представляет со-

бой литье под давлением сначала активированного, а затем не активированного пластика, после чего происходит осаждение металлов.

В основе печатных технологий лежат специальные чернила (токопроводящие, полупроводниковые, резистивные и т.д.), которые наносятся на подложки, методы их нанесения и постобработки. В качестве токопроводящих чернил используются растворы содержащие наночастицы металла (серебро, золото, медь и другие). Для их нанесения на криволинейные поверхности используется прямая печать. В настоящее время для формирования электропроводящего слоя из напечатанных элементов чаще всего используют термический отжиг. Для термообработки нанесенных чернил применяют два основных вида отжига чернил: объемный отжиг – термообработка в конвекционной печи; поверхностный отжиг – лучевой нагрев поверхности, на которой напечатан рисунок, за счет обработки инфракрасным, лазерным, световым пучком [7].

При печати на чувствительных к нагреванию полимерных материалах для формирования электропроводящих слоев используют поверхностные методы постобработки [8]. Среди альтернативных методов постобработки в последнее время активно развивается метод лазерного спекания [9]. Поглощение света печатным слоем приводит к его нагреву с последующим испарением жидкости и спеканием. Локальный лазерный нагрев является предпочтительным из-за уменьшения зоны теплового воздействия и более эффективной, селективной передачи энергии.

3D-MID обеспечивает очень высокую гибкость проектирования за счёт возможности интеграции электронных, механических и оптических элементов, широких возможностей относительно формы устройства и его миниатюризации в целом. Каждый из процессов создания 3D-MID изделий имеет свои недостатки. Основными недостатками LDS являются необходимость дорогостоящего материала для всей формы, а также многостадийный процесс, включающий химический процесс нанесения токопроводящего покрытия. Для 2S-процесса характерен быстрый процесс изготовления, но требуется сложный заливочный инструмент, при этом уменьшается точность относительно LDS. Печатная электроника позволяет существенно снизить стоимость изделий, увеличить эффективность их производства, создавать гибкие приборы с улучшенными рабочими характеристиками, повышенной надежностью и экологической безопасностью. Прямая печать перспективна для быстрого производства опытных образцов, партий специализированных приборов, а также для массового производства печатной электроники. К достоинствам прямой печати относятся достаточно высокое разрешение, гибкость, относительно низкая стоимость и совместимость почти с любым типом подложек и материалом. Прямая печать позволяет существенно упростить и ускорить производственный цикл. Самыми популярными проводящими чернилами являются растворы с наночастицами меди и серебра, самыми эффективными методами их обработки считается фотонный и лазерный отжиг. Согласно исследованию для фотонного отжига характерно наименьшее сопротивление и хорошие механиче-

ские свойства, а для лазерного – высокие точность и управляемость, а также небольшое сопротивление [8].

Технология 3D-MID отлично проявляет себя в изготовлении полноценных 3D изделий, особенно где сложность конструкции может оказать невыполнимой для прямой печати. Для криволинейных поверхностей и несложных 3D конструкций лучше использовать прямую печать.

Описание гибридной установки

Данная гибридная установка создана для изготовления печатной электроники. Главные особенности такой установки заключаются в способности печати на криволинейных поверхностях и в создании многослойных изделий. Установка основана на объединении нескольких составляющих: проводящих чернил, прямой печати, лазерного спекания, программного обеспечения для подготовки данных и управления данной системой.

Основные элементы установки: диспенсерная система, блок лазера, показанные на рисунке.



Гибридная установка для изготовления печатной электроники

Для позиционирования подложки используется вертикально перемещаемый стол с подогревом, который позволяет перемещаться между слоями изделий. Позиционирование блока диспенсеров относительно подложки осуществляется при

помощи порталного устройства. Данная установка может включать в себя два диспенсера для двух видов материалов: токопроводящих и диэлектрических. Диспенсер способен генерировать капли диаметром от 50 мкм и регулировать частоту выдачи капель. С помощью диспенсерной системы токопроводящие чернила наносятся на подложку методом прямой печати. Для термообработки чернил используется волоконный лазер с длиной волны 1,064 мкм. Позиционирование лазерного луча осуществляется при помощи блока гальванометрических сканеров. Фокусирующий объектив расположен непосредственно над подвижным столом, что обеспечивает межслойное фокусирование лазерного луча. В настоящий момент в качестве проводящих чернил данная установка использует чернила на основе Ag и Cu/Ag диспергированных в смеси нетоксичных растворителей, данные чернила исследованы и дают хорошие результаты при лазерном спекании [10].

Программное обеспечение для подготовки данных преобразовывает наиболее распространенный для производства печатных плат формат Gerber во внутренний формат данных. Окончательное изображение файла Gerber создается путем наложения объектов в порядке их создания. Объекты имеют разную полярность. Комбинируя объекты с разной полярностью, можно формировать сложную геометрию, которая будет являться слоем печатной платы. Проблема в том, что объекты накладываются друг на друга, нужно корректно сформировать траектории движения диспенсера (для нанесения раствора) и лазерного луча (для его спекания). То есть, требуется, чтобы все контура имели правильный обход относительно друг друга. Поэтому над этими объектами производятся булевы операции, после чего формируются траектории. Также программное обеспечение должно учитывать криволинейность поверхности подложки для поддержания правильного расстояния от диспенсера до подложки, а также поддержание фокусного расстояния при спекании.

Заключение

В данной статье рассмотрены основные методы для создания токопроводящих схем на произвольных подложках. Описано устройство гибридной лазерной системы и программное обеспечение для подготовки данных для такой системы.

Данная гибридная лазерная система позволяет создавать изделия печатной электроники и имеет упрощенный технологический процесс их изготовления. Существует возможность печати подложки при подключении второго диспенсера. Также есть возможность многослойной печати.

Данная установка может работать с популярным в производстве Gerber форматом.

Гибридная лазерная система имеет большой потенциал для производства электропроводящих слоев на произвольных подложках и устройств печатной электроники, а также подходит для прототипирования. Такая система позволяет упростить конструкцию электронного устройства.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Kamyshny A., Stinke J., Magdassi S. Metal-based Inkjet Inks for Printed Electronics // *Open Appl. Phys. J.* – 2011. – V. 4. – P. 19–36.
2. Шахнович И., Волков И. Печать на сложных трехмерных поверхностях: уникальные решения компании Neotech АМТ // *Вектор высоких технологий №7(28) 2016 С. 18–27.*
3. Нисан А. 3D-MID: области применения и технологии производства // *Поверхностный монтаж 3(89), март 2011 С. 10–13.*
4. Хесин. С. 3D-принтер DragonFly – революция в изготовлении многослойных печатных плат // *Вектор высоких технологий №4(39) 2018 С. 38–41.*
5. Киселёв С.А., Могильников И.А., Райков Д.В., Яковлев Д.М. Применение 3D MID-технологии для конструирования электронных устройств // *Сборник материалов V Международной молодежной научной конференции, посвященной памяти Почетного профессора УрФУ В.С. Кортова. 2019 С. 63–71.*
6. Волков И. Технология 3D-MID. Новые Возможности Прототипирования Изделий // *Электроника: наука, технология, бизнес 3(125), 2013 С. 170–175.*
7. Шурыгина В. Печатная электроника. Что это такое, как она создается, чего от нее ждать? Часть I // *Электроника: наука, технология, бизнес 3 (101), 2010 С. 12–19.*
8. Niittynen J., Abbel R., et al. Alternative sintering methods compared to conventional thermal sintering for inkjet printed silver nanoparticle ink // *Thin Solid Films.* – 2014. – V. 556. – P. 452–459.
9. Титков А.И., Гадиров Р.М., Никонов С.Ю., Одод А.В., Солодова Т.А., Курцевич А.Е., Копылова Т.Н., Юхин Ю.М., Ляхов Н.З. Селективное лазерное спекание токопроводящих чернил для струйной печати на основе композиции наночастиц и органической соли серебра // *Известия высших учебных заведений. Физика, №10, 2017, С. 24–29.*
10. Titkov A. I., Logutenko O. A., Vorobyev A. M. et al., Laser sintering of Cu@Ag core-shell nanoparticles for printed electronics applications // *Materials Today: Proceedings 25(2), 2020, P. 447–450.*

© К. В. Баталова, Я. В. Черткова, Д. Н. Катасонов, 2021