

# Растяжимые системы

## со встроенными электронными компонентами для применений в текстильной промышленности

**Современные электронные системы чаще всего имеют в своей основе электронные компоненты, которые расположены на жестких или гибких печатных платах. Данная структура идеально соответствует требованиям традиционных областей применения, таких как автомобильная, компьютерная или промышленная электроника.**

### Введение

Тем не менее невозможно соответствовать требованиям новых областей применения, таких как портативная электроника и текстильная промышленность, когда для их реализации используются только стандартные технологии.

Для этих областей применения создаются новые технологии монтажа, такие как «растяжимая электроника». В Институте надежности и микроинтеграции им. Фраунгофера совместно с Техническим Университетом Берлина была разработана технология реализации растяжимых систем на основе полиуретана в качестве растяжимого материала. При этом были использованы хорошо известные стадии технологического процесса изготовления печатных плат. В процессе монтажа электронных компонентов и модулей и последующего корпусирования при помощи растяжимого материала создается растяжимая система со встроенными электронными компонентами, которую далее легко можно интегрировать в различные среды. Технология растяжимых субстратов до сих пор была использована для ряда применений в текстильной промышленности. В качестве примера описано изготовление дизайнерского платья с интегрированными светодиодами и датчиком движения.

Сегодня почти вся электроника изготавливается на основе печатных плат. Производство этих мате-

риалов, состоящих из полимеров и стекловолокна, способствует сильному росту электронной промышленности. Наряду с транзисторами они являются ключом к низкой стоимости, небольшим размерам и высокому качеству систем. Особенно в портативных приборах высококачественные (High-End) печатные платы благодаря своей высокоплотной многослойной структуре могут способствовать значительной степени миниатюризации.

Гибкие печатные платы за счет своей механической приспособляемости предоставляют дизайнерам значительную степень свободы. Правда, возможна только приспособляемость к простым формам. Приспособляемость к свободным трехмерным поверхностям требует дополнительной степени свободы растяжимости, что является мотивацией для исследовательских групп к поиску новых решений для растяжимых печатных плат (Stretchable Circuit Board, SCB). То, что кажется странной перспективой будущего, тем временем стало уже важно для изготовителей печатных плат. Ряд исследовательских работ на эту тему перечислен ниже [1–8]. Далее будет описан процесс изготовления растяжимых печатных плат, который был разработан Институтом надежности и микроинтеграции им. Фраунгофера совместно с Техническим Университетом Берлина в рамках европейского исследовательского проекта STELLA [5]. Он сочетает не требующие больших затрат, хорошо известные технологии изготовления печатных плат с имеющимся в распоряжении и недорогим материалом — полиуретаном.

### Изготовление растяжимой печатной платы

В статье будет кратко описан процесс изготовления растяжимых печатных плат. Более подробно он рассмотрен в [8]. Самой главной целью разработки этого процесса являлась как можно большая совместимость с процессом изготовления печатных плат. Схематически процесс изображен на рис. 1. В качестве материала носителя используется эластичная пленка из термопластичного полиуретана (ТПУ) толщиной от 50 до 100 мкм. ТПУ плавится при температуре около 170 °С. Благодаря чему возможно использовать материал носителя и в качестве клея для дальнейших применений на других материалах (например, на текстиле). К тому же ТПУ является биоло-

**Андреас Остманн**  
(Andreas Ostmann)

andreas.ostmann@  
izm.fraunhofer.de

**Рене Виро (René Vieroth)**  
**Мануэль Зекель**  
(Manuel Seckel)  
**Томас Лёэр (Thomas Löher)**

**Перевод: Андрей Новиков**  
drej.novikov@uni-rostock.de



Рис. 1. Процесс изготовления растяжимых печатных плат

гически совместимым, доступным в больших количествах и недорогим материалом.

Для того чтобы растяжимую подложку можно было надежно использовать на всех этапах обработки, включая монтаж электронных компонентов, применяется годный для многократного употребления жесткий носитель, с которого в конце процесса снимается готовая система. Медная фольга толщиной в 36 мкм применяется для изготовления печатных проводников. ТПУ и медная фольга наслаиваются друг на друга. Медь демонстрирует на ТПУ отличную адгезию; результаты испытания на растяжение обычно составляли 2 Н/мм. После процесса ламинирования исходный материал готов к субтрактивному структурированию при помощи фотоструктурированной резистивной маски, аналог технологии изготовления печатных плат. Изготовление структур толщиной до 100 мкм не представляет особых проблем. Медь, естественно, не очень растяжима и может быть подвержена эластичному растяжению лишь до 0,1%. Поэтому применяется пружиноподобная, двумерная форма медных проводников для того, чтобы достигнуть значительно более высокой растяжимости без разрушения металла.

После проведения обширных исследований были разработаны правила дизайна змеевидных структур. Они делают возможным одноразовое растяжение на 300% и на 10% до 1600 циклов растяжения. Токопроводящие чернила и пасты могли бы быть принципиальной альтернативой меди, но их электропроводность намного ниже. На рис. 1 изображен упрощенный ход процесса, начиная со структурирования меди на ТПУ-подложке. После чего в области площадки монтажа электронного модуля наносится паяльная маска. Она локально сокращает растяжимость и таким образом значительно увеличивает срок службы паяных соединений. В конце наслаивается нарезанная при помощи лазера пленка из ТПУ. Она имеет отверстия в области площадок с нанесенной паяльной пастой и служит для покрытия растяжимых медных проводников.

### Монтаж электронных модулей

Переход от жестких электронных модулей с компонентами поверхностного монтажа к растяжимой плате-носителю является критическим моментом в процессе создания системы. Необходимо следить за тем, чтобы соединения электронных модулей подвергались лишь небольшим растяжениям для того, чтобы избежать ранних отказов, которые могут быть вызваны механическим разрушением паяных соединений. Наряду с уже упомянутыми площадками с нанесенной паяльной пастой используются также усилительные структуры из меди. Они также локально сокращают растяжение и таким образом — снижают нагрузку на паяное соединение.

Один из примеров таких структур изображен на рис. 2. Из-за небольшой температуры плавления ТПУ-подложки в 170 °С для монтажа используется эвтектический припой олово-висмут с температурой плавления



Рис. 2. Структура усилителя из меди на месте монтажа светодиодов

142 °С. Паяльная паста наносится традиционным способом при помощи шаблонной печати. После монтажа электронных компонентов паяльная паста оплавляется в печи с подобранным температурным профилем. После пайки электронные компоненты корпусируются в жидкий ТПУ при помощи пресс-формы. Благодаря формовке корпусирования можно достичь дополнительного уменьшения механической нагрузки на смонтированные электронные компоненты [5, 8]. Полученную растяжимую систему со встроенными электронными компонентами можно соединить с текстильными изделиями с помощью ламинирования и создать тем самым неразрывное соединение. Обширные исследования стойкости к процессу стирки еще предстоит провести, но уже на данный момент на первых тестовых образцах была продемонстрирована стойкость до 6 стандартных циклов стирки при температуре 60 °С.

### Платье-демонстратор

В качестве демонстратора интеграции растяжимой системы в текстильные изделия было создано платье со светодиодами, которое реагирует на движения различными световыми эффектами. Была поставлена задача так интегрировать электронику, чтобы она была не видима и не ощутима, и достичь высокой степени комфорта при использовании. Платье было разработано параллельно с электронной системой для достижения единства дизайна текстильного изделия и техники. На одной стороне платья вразброс были встроены 32 белых светодиода. Для согласования движения и световых эффектов на внутреннюю сторону платья был помещен датчик ускорения. Световые эффекты и яркость светодиодов были рассчитаны так, что они производят впечатление сдержанной элегантности.

Основой системы является растяжимая подложка, которая изготавливается в ходе описанного выше процесса. Электроника управления распределена на три различных блока: 8-битный RISC-микроконтроллер компании Atmel AVR, драйвер для 16 светодиодов TLC5940 компании Texas Instruments, а также датчик ускорения MMA7450 компании Freescale. Каждый из этих электронных компонентов был смонтирован вместе с необходимыми пассивными электронными компонентами на свой отдельный электронный модуль на основе двусторонней печатной платы FR4 при помощи технологии поверхностного

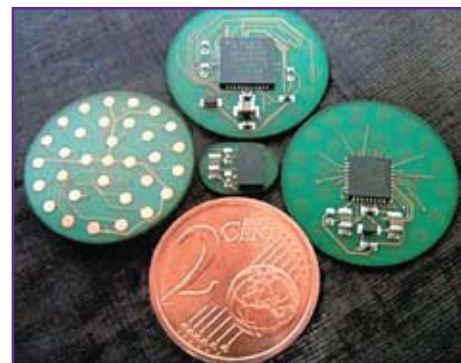


Рис. 3. Модули для микроконтроллера, управления светодиодами и датчика ускорения

монтажа (рис. 3). Круглые или овальные модули имеют на своей нижней стороне контакты для монтажа технологией пайки на растяжимую подложку. Закругленная форма была выбрана для повышения как комфорта использования изделия, так и надежности.

Для монтажа на растяжимую плату, которая все еще находится на жестком носителе, наносилась паяльная паста SnBi и устанавливались электронные компоненты (1 модуль микроконтроллера, 2 модуля драйвера светодиода, 1 модуль датчика ускорения, 32 светодиода). Затем происходил процесс оплавления и корпусирования, для того чтобы в заключение при помощи лазера вырезать растяжимую систему и снять ее с временного носителя. Растяжимая система далее помещалась на один из тонких слоев хлопковой подкладки платья (рис. 4). Электропитание электроники осуществляется за счет литий-полимерного аккумулятора весом в 50 г, который расположен со стороны спины в поясе платья. Пояс просто соединяется с электронной системой платья при помощи двух кнопок. Заряда аккумулятора хватает на 8 часов в режиме активной эксплуатации.

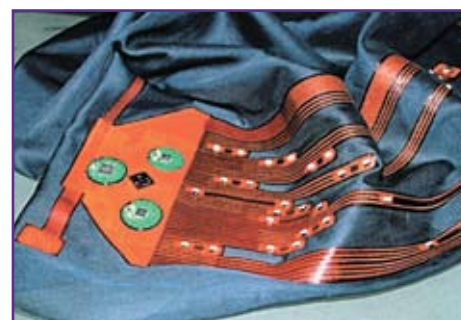


Рис. 4. Готовая смонтированная система на растяжимой подложке

### Выводы и перспектива

В Институте надежности и микроинтеграции им. Фраунгофера совместно с Техническим Университетом Берлина была разработана технология изготовления растяжимых печатных плат и систем. В качестве основного материала используется термопластическая полиуретановая пленка (ТПУ). Этапы технологического процесса в большинстве соответствуют уже существующей технологии изготовления печатных плат. Данный процесс может быть



Рис. 5. Платье со встроенными светодиодами

осуществлен благодаря использованию много-разового жесткого носителя на протяжении всего процесса. Полученные в ходе него растяжимые системы со встроенными электронными компонентами могут быть приспособлены практически к любым формам поверхности. Их преимущество особенно проявляется при их интеграции в текстильные изделия. Мягкие печатные проводники легко приспособляются к движениям тела и обеспечивают таким образом высокую степень комфорта использования.

В качестве примера применения в текстильной промышленности было создано платье

с интегрированными светодиодами, которое демонстрирует световые эффекты, зависящие от движений (рис. 5). На растяжимой подложке из ТПУ длиной в 50 см были смонтированы и корпусированы светодиоды и модули с микроконтроллером, драйверами светодиодов и датчиком ускорения. Растяжимая система при помощи ламинирования была интегрирована в один из многих тонких хлопковых слоев, из которых состоит платье. Платье реагирует на движения при носке сдержанными световыми эффектами. Благодаря растяжимости электронной системы и полной интеграции в слой материала создается высокая степень комфорта носки.

Пример платья со светодиодами и другие созданные устройства показывают большой потенциал применения растяжимых электронных систем. Другими областями применения являются светотехника и техника безопасности. Дальнейшая разработка в направлении освещения помещения и светотерапии будет проведена в начале 2010 года в рамках европейского интегрированного проекта Place-It под руководством компании Philips.

В Институте надежности и микроинтеграции им. Фраунгофера имеются технические возможности для организации прототипного и малосерийного производства растяжимых систем. Однако главная задача должна все же заключаться в дальнейшей разработке технологического процесса. Поэтому важной целью является коммерческое предоставление технологии растяжимых систем промышленным производителям. Для этого в конце 2009 года уже началось сотрудничество Берлинского Технического Университета с компанией Andus.

*Примечание.* Оригинал статьи опубликован в журнале PLUS (Produktion von Leiterplatten und Systemen. 2009. № 12. Германия).

#### Литература

1. Li T., Huang Z., Suo Z., Lacour S.P., Wagner S. Stretchability of thin metal films on elastomer substrates // Appl. Phys. Lett. 2004. Vol. 85. No. 16.
2. Lacour S.P., Jones J., Wagner S., Li T., Suo Z. Stretchable interconnects for elastic electronic surfaces // Proceedings of the IEEE on Flexible Electronics Technology. 2005. Vol. 93. No. 8.
3. Kim D.-H., Ahn J.-H., Choi W.M., Kim H.-S., Kim T.-H., Song J., Huang Y., Liu Z., Rogers J.A. Stretchable and Foldable Silicon Integrated Circuits. Science, 2008.
4. Gonzalez M., Axisa F., Van den Bulcke M., Brosteaux D., Vandeveld B., Vanfleteren J. Design of metal interconnects for stretchable electronic circuits // Microelectronics Reliability. 2008. No 48.
5. Webseite des europäischen Forschungsprojekts STELLA — [www.stella-project.de](http://www.stella-project.de)
6. Gonzalez M., Axisa F., Bossuyt F., Hsu Y.-Y., Vandeveld B., Vanfleteren J. Design and Performance of Metal Conductors for Stretchable Electronic Circuits / Proc. of the ESTC. Sept 2008. London, UK.
7. Someya T., Sakurai T. Integration of Organic Field-Effect Transistors and Rubbery Pressure Sensors for Artificial Skin Applications / IEEE International Electron Devices Meeting. 2003.
8. Löher T., Viero R., Seckel M., Ostmann A., Reichl H. Stretchable electronic Systems for wearable and textile Applications. VLSI Packaging Workshop of Japan, 2008. IEEE 9<sup>th</sup>.