



## ФОТОЭЛЕМЕНТЫ НА ОСНОВЕ ПЛАСТИКА

Юлия Галаган

yulia.galagan@tno.nl

Голландский государственный институт  
прикладных научных исследований  
(TNO/Holst Centre)

На настоящем этапе развития человечества проблема получения достаточного количества энергии является одной из основных глобальных проблем. Беспрецедентно растущие цены на сырьевые энергоресурсы заставляют предпринимателей и даже целые страны стремиться к энергетической независимости. Современная передовая наука пытается решить эту проблему за счет возобновляемой энергии. Возобновляемую энергию получают из природных ресурсов, таких как солнечный свет, ветер, дождь, приливы и геотермальная теплота. Солнечная энергетика — одно из направлений нетрадиционной энергетики, базирующееся на непосредственном использовании солнечного излучения для получения энергии в каком-либо виде.

Первые солнечные элементы были открыты в 1954 году. Они основывались на кремнии и имели эффективность около 6%. С течением времени их эффективность значительно увеличилась. Кроме того, появилось достаточное количество альтернативных материалов для создания фотоэлектрических элементов. Однако полупроводниковые фотоэлектрические элементы все еще производят менее 0,1% всей энергии, производимой в мире. Главным препятствием для завоевания рынка является высокая цена одного МВт энергии, производимого неорганическими полупроводниковыми фотоэлектрическими элементами.

Органические полупроводники могут быть прекрасной альтернативой дорогим неорганическим материалам. Как и большинство органических материалов на основе полимеров органические полупроводники имеют относительно низкую стоимость производства в больших объемах. А также, учитывая гибкость и пластичность органических молекул, производство фотоэлектрических элементов на основе пластика является многообещающим с точки зрения уменьшения стоимости производства. Тем самым, стоимость одной единицы энергии, производимой такими фотоэлементами, будет существенно снижена. Поэтому производство фотоэлементов на основе пластика на полимерных подложках, при использовании стандартных методов печати и покрытия, обещает высокую эффективность производства и применения.

Органические фотоэлементы могут быть произведены из раствора путем нанесения функциональных слоев одним из традиционных методов печати. Современные методы печати позволяют создать слой толщиной в несколько нанометров и при этом обеспечить идеальную работу устройств. Потребление материалов очень рационально, что вносит существенный вклад в высокую экономичность производства такого рода фотоэлементов. На рис. 1 изображена пластиковая подложка, покрытая фоточувствительным слоем толщиной в

200 нанометров. Рулон с фоточувствительным слоем создан путем непрерывной печати со скоростью 10-30 м/мин, что значительно сокращает стоимость производства [1].

Следующим не менее важным фактором, способствующим уменьшению стоимости органических фотоэлементов, является замена дорогих составляющих компонентов более дешевыми прототипами. Так, например, оксид индия и олова (indium tin oxide – ИТО), который чаще всего используется как прозрачный электрод в фотоэлектрических элементах, является одним из наиболее дорогих компонентов в фотоэлектрических устройствах. Цена на индий за последние пять лет возросла в десять раз в основном из-за использования его в современных дисплеях с плоским экраном. Кроме того, ограниченная гибкость этого компонента и ограниченная электрическая проводимость стимулировали ученых к поиску более дешевых и удобных альтернатив. Так, например, в Голландском государственном институте прикладных научных исследований разработан прозрачный электрод [2] на основе полимеров с высокой электропроводимостью и металлической сетки шириной в несколько микрон. При этом как полимер, так и металлическая сетка могут быть напечатаны стандартным методом, что обеспечивает их низкую стоимость. Полимерный электрод не только не уступает по качеству электроду на основе индия, но и значительно превосходит его с точки зрения проводимости и механической подвижности. Этот факт позволяет значительно увеличить площадь одной фотоэлектрической ячейки. На рис. 2 изображена органическая фотоэлектрическая ячейка, не содержащая оксида индия и олова. Прозрачный электрод состоит из металлической сетки и прозрачного полимера с высокой электропроводимостью. Замена оксида индия и олова альтернативным электродом не только позволяет снизить стоимость, но и создать единичный элемент общей площадью более 144 см<sup>2</sup> без потерь эффективности.



Рис. 1 Рулон пластиковой подложки, покрытой фоточувствительным слоем толщиной в 200 нанометров



Юлия Галаган защитила кандидатскую диссертацию в 2002 году на кафедре неорганической химии Киевского Национального университета имени Тараса Шевченко, где и работала после окончания аспирантуры. Основной фокус ее работы был направлен на изучение высокотемпературных сверхпроводящих материалов.

С 2005 по 2008 год Юлия работала научным сотрудником Тайваньского Национального университета (NTU), где проводила исследования в области органических и неорганических композитных материалов, применяемых в различных видах сенсоров и фотоэлектрических элементах.

С 2008 года Юлия Галаган является научным сотрудником Голландского государственного института прикладных научных исследований (TNO/Holst Centre). Как лидер проекта, Юлия отвечает за развитие технологий для производства органических фотоэлементов и передачу технологий лабораторного уровня массовому производству. Область ее деятельности: органические фотоэлементы, органическая и печатная электроника, методы производства и печати, новые органические и неорганические композитные материалы, наноматериалы и нанотехнологии.

Одной из особенностей органических фотоэлементов является их свойство быть полупрозрачными (рис. 3) [3]. Свойство полупрозрачности открывает новые возможности в применении фотоэлектрических элементов, например, при создании звуковых перегородок, стен и окон, производящих энергию. Благодаря легкому весу, гибкости и полупрозрачности органические фотоэлементы могут быть легко интегрированы в фасады зданий, окна и крыши домов. При этом они лучше подходят для этой цели, чем тяжелые и хрупкие фотоэлектрические устройства на основе кремния. Кроме того, благодаря молекулярной инженерии можно подобрать такие органические молекулы, которые обеспечат различные цвета и оттенки полупрозрачным фотоэлементам.

Итак, органические фотоэлектрические элементы имеют множество преимуществ по сравнению с традиционными кремниевыми фотоэлементами, среди них:

- возможность быть гибкими и полупрозрачными;
- малый вес;
- возможность производства путем непрерывной печати традиционными методами;
- высокая скорость производства в большом масштабе;
- легкая интеграция в любые виды устройств;



Рис. 2 Органическая фотоэлектрическая ячейка общей площадью  $15 \times 15 \text{ см}^2$  (активная область  $144 \text{ см}^2$ ). Устройство не содержит оксида индия и олова. Прозрачный электрод и фоточувствительный слой напечатаны из полимерных растворов, металлическая решетка также напечатана из раствора

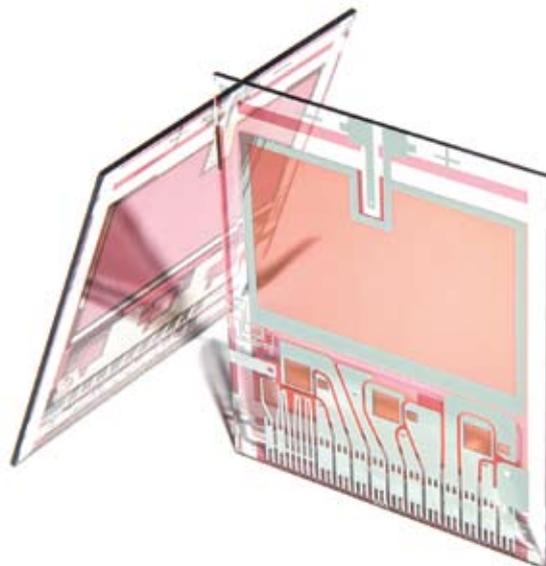


Рис. 3 Полупрозрачные органические фотоэлементы

- значительно меньшая стоимость по сравнению с традиционными фотоэлементами;
- технология производства органических фотоэлектрических элементов является экологически чистой и не производящей вредных отходов.

Несмотря на то, что эффективность органических фотоэлектрических элементов в данный момент значительно уступает неорганическим элементам, органические устройства потенциально имеют множество преимуществ. Если взглянуть на скорость роста эффективности органических фотоэлементов, то наблюдается тенденция, аналогичная аморфным силиконовым фотоэлементам тридцать лет назад. Кроме того, увеличение эффективности аморфных силиконовых фотоэлементов уже достигло своего лимита, в то время как эффективность органических фотоэлементов все еще увеличивается. И не за горами то время, когда эффективность органических фотоэлементов превзойдет эффективность устройств, состоящих только из неорганических компонентов.

#### ПО МАТЕРИАЛАМ:

1. Y. Galagan, I. G. de Vries, A. P. Langen, R. Andriessen, W. J. H. Verhees, S. C. Veenstra and J. M. Kroon, Technology development for roll-to-roll production of organic photovoltaics, Chemical Engineering and Processing: Process Intensification, in press, doi:10.1016/j.cep.2010.07.012
2. Y. Galagan, J. E. J. M. Rubingh, R. Andriessen, C. C. Fan, P. W. M. Blom, S. C. Veenstra and J. M. Kroon, Ito-free flexible organic solar cells with printed current collecting grids, Solar Energy Materials and Solar Cells, in press, doi:10.1016/j.solmat.2010.08.011.
3. Y. Galagan, M. G. Debije and P. W. M. Blom, Semitransparent organic solar cells with organic wavelength dependent reflectors, Applied Physics Letters 98, no. 4, 043302-043303. ■■

Направление развития образования и прикладных исследований ЗАО Предприятие Остек выражает благодарность Юлии Галаган за подготовку публикации по органическим фотоэлементам. За дополнительной информацией по передовым технологиям и продуктам в области электроники, разрабатываемым в Голландском государственном институте прикладных научных исследований, вы можете обращаться к сотрудникам нашего направления по тел. (495) 788-44-44 или по электронной почте [edu@ostek-group.ru](mailto:edu@ostek-group.ru)



## СУШКА ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ И РАДИОКОМПОНЕНТОВ

Павел Агафонов

lines@ostec-group.ru

**Н**а основании обзора статей в специализированных печатных изданиях автором был сделан вывод о практически полном отсутствии в последнее время технической информации о методах сушки печатных плат и радиокомпонентов. Обнаружив в интернете статью специалистов компании TO-TECH SUPER DRY G. Schubert, Th. Schonfeld и A. Friedrich, автору показалось, что факты, приведенные в ней, могут заинтересовать большое количество отечественных специалистов (особенно технологов), занимающихся проблемами монтажа электронных модулей. В данной статье использованы и другие источники информации с целью концентрации внимания на технологиях подготовки компонентов и печатных плат перед монтажом.

Печатные платы, как и большинство радиоэлементов, представляют собой структуры из пластика, металла и керамики, что подразумевает под собой абсорбцию (впитывание) влаги. Повышенная влажность плат и корпусов компонентов, особенно при их пайке, приводит к возникновению дефектов монтажа (трещины, отказ работоспособности и т.д.). Большинство поставщиков печатных плат и радиокомпонентов не дают точных рекомендаций по сушке и хранению. Имеющиеся рекомендации по высокотемпературной сушке иногда приводят к ухудшению паяемости и деламации (расслоению) печатных плат, разрушению корпусов компонентов и образованию интерметаллических соединений. Целью данной статьи является сравнение разных методов сушки и определение достоинств и недостатков каждого метода.

Наиболее полная информация по сушке влагочувствительных компонентов представлена в международном стандарте IPC/JEDEC J-STD-033B.1 ("Handling, packaging, dispatch and deployment of moisture/reflow-sensitive components for surface mounting"), в том числе и по альтернативному высокотемпературному методу.

Для того чтобы провести реальные сравнения различных методов сушки компонентов, были выбраны стандартные компоненты в корпусах типа QFP100 и использованы следующие режимы и методы:

1. Высокотемпературная сушка в печи при температуре +125°C
  2. Сушка в сушильном шкафу в атмосфере азота N<sub>2</sub> при режимах t 20°C/ <1% RH
  3. Сушка в вакуумной камере при давлении 10 mbar
  4. Сушка в шкафу сухого хранения при режимах 40°C/7% RH
  5. Сушка в шкафу сухого хранения при режимах 80°C/7% RH
  6. Сушка в шкафу сухого хранения при режимах 45°C/< 1% RH
  7. Сушка в шкафу сухого хранения при режимах 60°C/< 1% RH
- Предварительно, для ускорения поглощения влаги компонентами 50 образцов корпусов были выдержаны в климатической камере

с условиями 85°C/85% RH. Изменение содержания влаги измерялось на весах с точностью 0,01 г. Полученные результаты были сведены в график (рис. 1).

Сравнение показывает, что вакуумная сушка, сушка в азоте и сушка при параметрах 40°C/7% RH демонстрируют незначительное снижение уровня влажности и могут использоваться только для снижения влажности компонентов при больших временных режимах. Следующая группа (сушка при 45°C/<1% RH, сушка при 60°C/<1% RH и сушка при 80°C/7% RH) демонстрирует гораздо лучшие показатели.

И наконец, как видно из графика, наилучшие результаты по скорости показал метод высокотемпературной сушки при 125 градусах. Однако обратите внимание, что данный метод является достаточно жестким по воздействию на сами компоненты и рекомендуется к использованию только при необходимости поступления их на линию сборки электронных модулей в сжатые сроки. По другим данным, сушка в течение 96 часов при более низких температурах дает такие же результаты, что и высокотемпературная сушка, но с минимальным воздействием на компоненты. Как показывает практика, естественно, на производствах не пользуются точными весами для замера изменения веса при сушке, поэтому предлагается опираться именно на время, указанное на графиках.

Сравнение методов сушки печатных плат отражено в приведенном ниже графике (рис. 2), который составлен по результатам проведения аналогичных измерений и для печатных плат. Методология проведения испытаний аналогична методам сушки компонентов. Для испытаний были выбраны следующие образцы:

1. Печатная плата на основе материала FR4 толщиной 0,4 мм
2. Гибкая печатная плата толщиной 0,3 мм
3. Гибко-жесткая печатная плата толщиной 0,3 и 0,4 мм
4. Печатная плата на основе материала FR4 толщиной 1,6 мм

Сравнение методов сушки корпусов QFP100

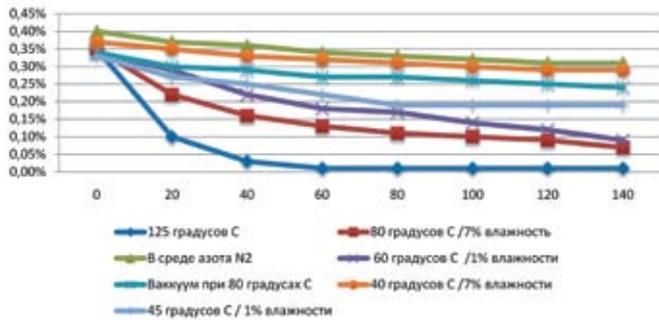


Рис. 1 График сравнения методов сушки корпусов QFP100

Сушка печатных плат при 45 градусах С / 1% влажности

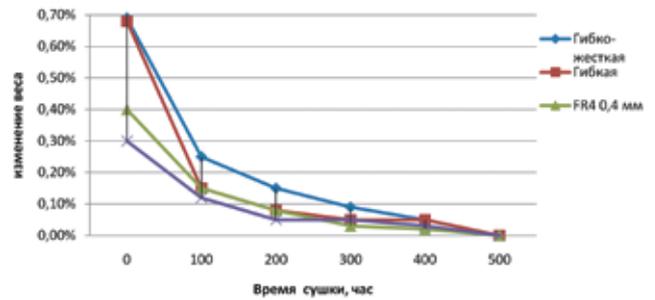


Рис. 2 График сравнения методов сушки печатных плат

В качестве примера показан график снижения процентного содержания влаги при параметрах сушки 45 градусов 1% влажности. Снижение содержания воды до безопасного для пайки значения в 0,1% составляет от 120 до 260 часов.

Проведенная работа показала следующее:

1. Методы сушки компонентов и печатных плат при 40 градусах С/7% влажности и сушки в вакууме при 10 мбар не эффективны. Сушка в азоте применима только для длительного хранения компонентов.
2. Метод сушки компонентов при 80 градусах С/7% влажности, 45 градусах С/1% влажности и 60 градусах С/1% влажности демонстрируют различный эффект. Наиболее предпочтительным является режим 60 градусов С/1% влажности

3. Сушка как компонентов, так и печатных плат при температуре 125 градусов дает максимальный эффект в коротки сроки, но чревата повреждением компонента. Наиболее эффективные для сушки плат методы представлены в таблице 1.

Таблица 1 Наиболее эффективные методы для сушки печатных плат

Тип платы	Температура, °С	Влажность, %	Время сушки, час
Гибкие платы	45	1	150
0,4 мм толщиной	60	1	82
Гибко-жесткие платы	45	1	300
1,6 мм толщиной	60	1	150

Время сушки, ч

