

Легкий старт. Лаборатория органической электроники и фотовольтаики

А. Васильев¹

УДК 621.3 | ВАК 2.2.2

Отечественная электроника в 2022 году сталкивается с серьезными проблемами и вызовами. К пандемии коронавируса добавились беспрецедентные ограничения по импорту комплектующих и технологического оборудования для производства микроэлектроники. Высокая стоимость запуска любой микроэлектронной лаборатории осложняется сейчас непрогнозируемыми внешними условиями. Такая ситуация, конечно, сильно ограничивает возможности бизнеса по развитию высокотехнологичных производств электроники. Однако уход множества иностранных поставщиков товаров и решений с российского рынка открывает новые перспективы для отечественных производителей и разработчиков. Существуют такие области применения, для которых легкий старт и запуск нового направления практически с нуля не только возможен и целесообразен с коммерческой точки зрения, но и предлагает заманчивые перспективы развития. В статье рассказывается об одном из таких направлений – органической электронике – и описывается состав лаборатории для практических исследований в этой области.

ИНТЕРЕСНЫЕ ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ

Органическая электроника как направление научных исследований активно развивается в последние годы. Главными драйверами развития остаются изделия для широкого потребительского рынка: в основном это экраны на базе органических светодиодов (organic light-emitting diode, OLED) для смартфонов, умных часов, телевизоров и мониторов. Интенсивно развивается органическая фотовольтаика (OPV) и исследования в области производства перовскитных солнечных элементов – потенциально способных заменить дорогую кремниевую технологию и сделать солнечную энергетику широкодоступной для владельцев обычных домов и квартир.

Гибкие, прозрачные органические дисплеи и OLED-освещение

Дисплеи на базе OLED пришли на смену дисплеям на жидких кристаллах, яркость, светотехнические характеристики и толщина которых уже не позволяли производить устройства нового поколения (рис. 1). Первые

OLED-дисплеи представляли собой многослойную органическую структуру на стеклянной подложке и со стеклянным защитным слоем. Современные органические дисплеи избавились от стекла и формируются на пластиковой TFT-матрице, что позволило уменьшить толщину экрана до значений в доли миллиметра. Дальнейшее развитие и применение пластиковых оснований и пластиковой защиты (инкапсуляции) сделало возможным производство гибких экранов. Гибкие OLED-дисплеи открыли новые, ранее недоступные потребительские качества изделий широкого потребления, которые, хоть и по высокой стоимости, но уже поступили в продажу.

Прозрачные дисплеи также имеют огромный потенциал для нишевых областей применения, например носимой электроники, экранов дополненной реальности, рекламных конструкций, везде – где требуется обеспечить экрану видимую прозрачность (рис. 2).

OLED-технологии перспективны также для создания источников освещения (рис. 3).

Фотоэлементы для работы внутри помещений

В любом помещении, где всегда есть свет, могут потребоваться энергонезависимые устройства самого

¹ ООО «ТТМ», генеральный директор, av@ttmicro.ru.

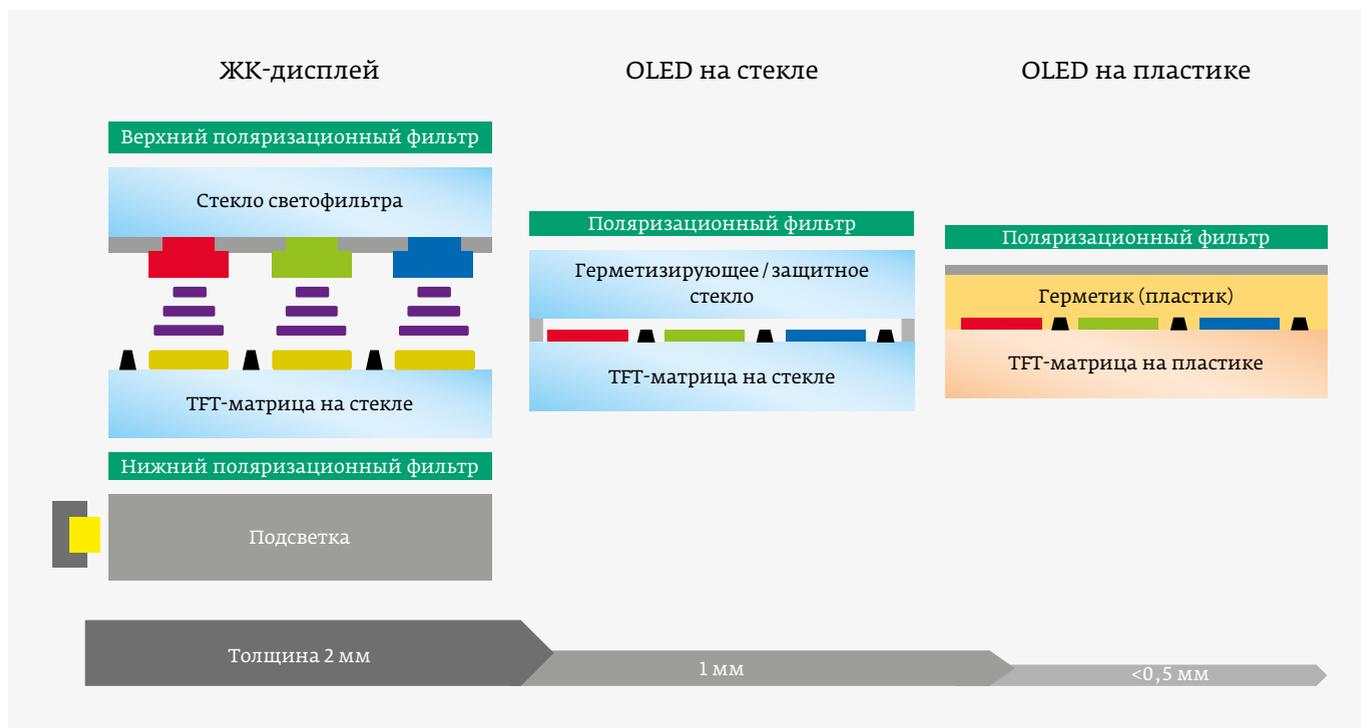


Рис. 1. ЖК-экран (LCD) в сравнении с OLED-дисплеем на стекле и OLED-дисплеем на пластике

широкого назначения. Используя органические фотоэлементы (рис. 4), можно создавать энергонезависимые системы мониторинга здоровья и климата в помещениях, организовывать системы аварийного оповещения в случае отключения питания и света, передавать сигналы и небольшие объемы данных по радиоканалу.

Органические фотоэлементы могут применяться также в системе автоматического переключения визора мотошлема (рис. 5) в режим максимальной прозрачности в случае резкого изменения освещения, например при въезде в тоннель, или, наоборот, затемнения визора в случае выезда из тоннеля.



Рис. 2. OLED-дисплей со степенью прозрачности более 80%, соотношением эмиссии верхнего и нижнего слоев 1:1 и внешней квантовой эффективностью выше 20%. Предоставлено MCUT (Ming Chi University of Technology)

ЛАБОРАТОРИЯ ОРГАНИЧЕСКОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ

Создание вышеупомянутых изделий требует определенной научно-технической работы, для которой нужны свои инструменты и оборудование. Органическая электроника привлекательна в первую очередь невысокой себестоимостью изделий, и «порог входа» в эту область, вопреки стереотипному мнению, очень невысокий. Бюджет



Рис. 3. Осветительная OLED-ячейка, обладающая равномерным излучением по всей площади. Предоставлено MCUT

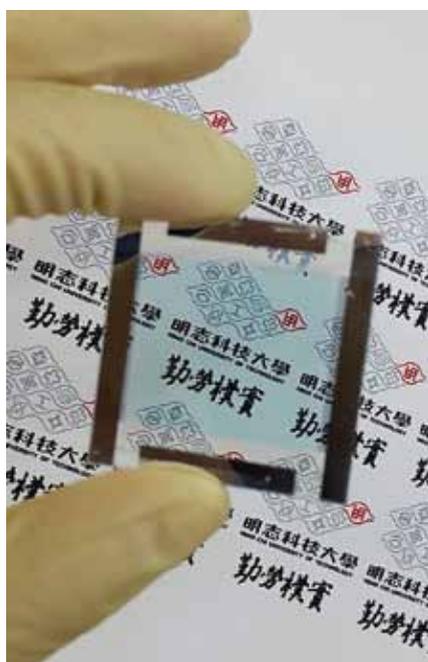


Рис. 4. Органический фотоэлемент, работающий от комнатного освещения (100 мкВт/см² при 600 лк с КПД более 30%). Предоставлено MCUT

для оснащения лаборатории для разработки OLED или OPV вполне может соответствовать стоимости одной сложной фотолитографической установки, а сотрудничество с научными организациями в азиатском регионе позволит наладить ритмичную исследовательскую деятельность с близкими по срокам ощутимыми результатами.

В рамках такой лаборатории можно будет проводить исследования и выпускать небольшие партии изделий на базе квадратных стеклянных или пластиковых подложек размерами 150×150 мм, в едином вакуумном цикле

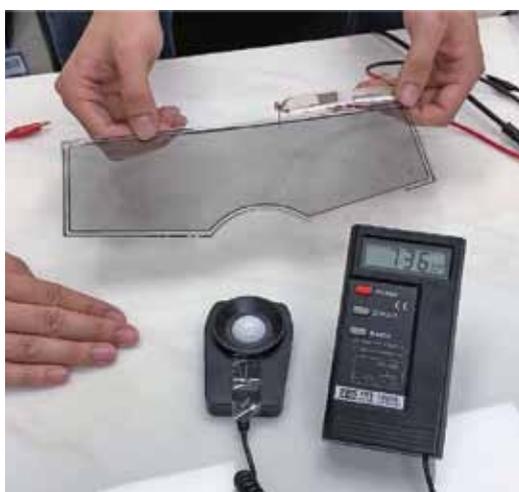


Рис. 5. Прикладное применение органической фотовольтаики: визор мотошлема, изменяющий степень затемнения в зависимости от яркости света. Предоставлено MCUT

наносить композиции, состоящие из различных слоев, включая (в рамках одного вакуумного цикла):

- до шести различных органических материалов;
- до пяти различных металлов;
- до четырех органических перовскитных материалов.

Легкий старт лаборатории, о которой мы говорим, укладывается в перспективу полутора-двух лет в зависимости от готовности помещения и сроков поставки оборудования. Основные этапы проекта по созданию лаборатории и их продолжительность представлены в табл. 1.

После обучения организовано работать в рамках такой лаборатории могут группы студентов и аспирантов, минимальное количество инженеров для обеспечения ежедневной работы оборудования составляет от трех до пяти человек.

Таблица 1. Укрупненный график проекта оснащения лаборатории органической электроники и фотовольтаики

№	Наименование этапа	График											
1	Проектирование и подготовка помещений, в том числе чистых производственных помещений	6 мес											
2	Размещение заказов и поставка оборудования	16 мес											
3	Обучение сотрудников и запуск лаборатории											6 мес	
4	Выпуск первых образцов продукции и переход к исследовательской работе												4 мес



Рис. 6. Производственный участок лаборатории органической электроники

Охарактеризуем вкратце состав оборудования для лаборатории органической электроники. Условно состав оборудования разделим на три участка: производственный участок, участок фотолитографии и комнату контроля и измерений.

Производственный участок

Сердцем лаборатории органической электроники является кластерная установка для получения многослойных органических структур (рис. 6). Например, для работ по OPV требуются процессные камеры для термовакуумного и/или магнетронного напыления металлических слоев, термовакуумного осаждения органики и отдельная процессная камера для работы с перовскитами. В единой вакуумной системе необходимо предусмотреть роботизированную передаточную камеру и перчаточный бокс для загрузки, выгрузки и инкапсуляции. Для доочистки органических материалов желательнее иметь высоковакуумную печь (порядка 10^{-5} Па) с кварцевым реактором.

Для каждой рабочей камеры необходима своя система вакуумной откачки, магнетронные и термовакуумные устройства требуют специальных источников питания, которые устанавливаются в выносные стойки. В результате занимаемая площадь производственного участка составляет порядка 40–50 м² чистых помещений класса ISO5 или ISO6 и порядка 30 м² сервисных зон. Для работы оборудования, помимо электропитания,

потребуется подача азота, очищенного сжатого воздуха и оборотной воды.

Участок фотолитографии

Для того чтобы формировать топологические элементы и транзисторные структуры, необходим участок фотолитографии. В состав участка должна входить установка совмещения и УФ-экспонирования (рис. 7), центрифуги для



Рис. 7. Установка совмещения и экспонирования на участке фотолитографии



Рис. 8. Комната контроля и измерений

Таблица 2. Минимально требуемый комплект контрольно-измерительного оборудования для лаборатории органической электроники и фотовольтаики

№	Наименование	Назначение и краткое описание
1	Имитатор солнечного излучения	Измеряет эффективность работы в условиях воздействия солнечного света. В качестве источника для такого прибора используется ксеноновая лампа с короткой дугой, обладающая широким спектром излучения. Световая температура такой лампы составляет 6 000 К, что близко к температуре естественного солнечного света (5500 К)
2	Имитатор комнатного освещения	Позволяет имитировать излучение комнатного источника освещения (порядка 100–1 200 лк). В камере также располагается контактная группа для подключения фотоэлемента и измерения его характеристик в условиях комнатного освещения
3	Атомно-силовой микроскоп	Служит для определения шероховатости поверхности и характеристики морфологии поверхности на наноуровне
4	Эллипсометр	Используется для измерения толщин слоев
5	Анализатор спектра	Для получения данных о степени отражения, поглощения или абсорбции света
6	Система измерения времени высвечивания	Для измерения времени затухания люминесценции

нанесения и проявления фоторезиста, плитка для сушки фоторезиста, система ультразвуковой отмывки. Для изготовления металлических масок особой формы необходимо иметь систему лазерной резки, а для удаления органических и углеродных остатков после лазерной резки – систему очистки сухим снегом.

Чтобы сократить затраты на инженерное оборудование, участок фотолитографии можно оснастить мобильными или локальными боксами с фильтровытяжными модулями на НЕРА-фильтрах, внутрь которых поставить установки для нанесения и проявления фоторезиста, а также установку для экспонирования. Площадь участка фотолитографии составляет порядка 20 м² чистых помещений класса ISO5 и ISO6 и около 10–12 м² сервисных зон.

Комната контроля и измерений

Для любой исследовательской лаборатории контрольно-измерительное оборудование определяет возможности по управлению параметрами работы, поэтому набор оборудования должен быть соответствующим (рис. 8). Минимально необходимый комплект требуемого измерительного оборудования включает шесть позиций (табл. 2).

В качестве дополнительных аналитических инструментов могут потребоваться:

- системы измерения интенсивности и спектра излучения;
- зондовая станция для контроля вольт-амперных и емкостных характеристик;
- сканирующий электронный микроскоп (SEM);

- лазерная система формирования дальностного (Time-of-Flight, ToF) изображения;
- система измерения внешней квантовой эффективности;
- черная сфера;
- система измерения линейного динамического диапазона;
- гибочная машина для испытания механических параметров гибких дисплеев.

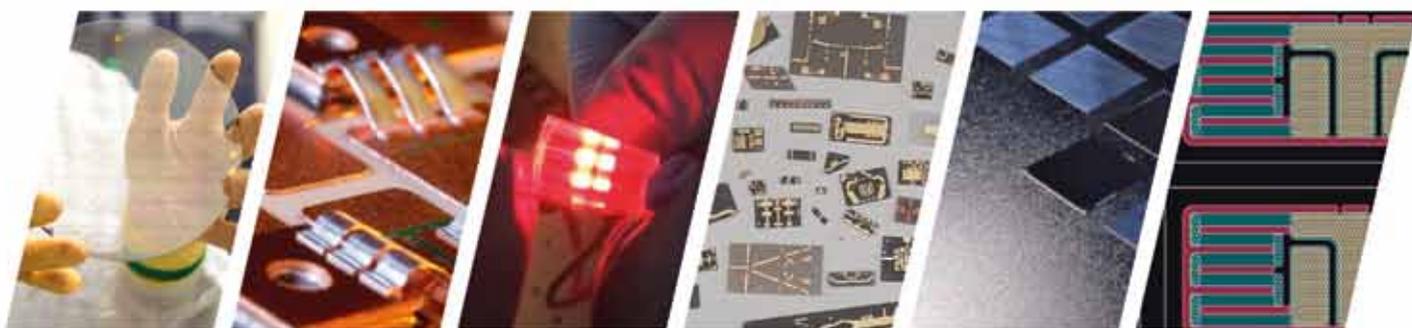
Контрольно-измерительное оборудование может размещаться в нескольких помещениях и не так требовательно к чистоте и условиям. Общую площадь для размещения этой части можно оценить примерно в 50 м².

* * *

Для исследовательских организаций и групп, ищущих возможности быстрой коммерциализации своих разработок, технологии органической электроники предоставляют возможности быстрого и относительно простого запуска такого направления практически «с нуля». Суммарные инвестиции в такой проект невысоки, требования к помещениям гораздо ниже, чем у микроэлектронных лабораторий, а сроки ввода в эксплуатацию нового лабораторного комплекса укладываются в два года. Развитие прикладных решений на базе органической электроники у нас в стране только начинается, поэтому легкий старт такого направления получит дополнительное преимущество из-за относительно невысокой конкуренции, особенно в текущих экономических условиях. ●

Технологии микроэлектроники

Заказные решения и экспертные услуги
для производств микроэлектроники
и полупроводниковой техники



СВЧ микросхемы и транзисторы на базе GaAs и GaN

Силовая микро-электроника

TFT и OLED дисплеи, в т.ч. гибкие и прозрачные

ГИС и СВЧ-модули

Транзисторы и микросхемы в пластиковых корпусах, WLP, 3D и 2,5D-интеграция

МЭМС и НЭМС, микроболометры и др. специальные изделия

Полупроводники

Органическая электроника

Фотоника

- Разработка и трансфер технологий
- Поиск и привлечение финансирования
- Доставка и обслуживание оборудования
- Повышение квалификации инженеров



TTM

ООО «ТТМ»
www.ttmicro.ru

Москва, Каширское шоссе, д3к2с4
тел.: +7 495 150 9546