

Отзыв на автореферат диссертационной работы
соискателя степени кандидата технических наук **Ле Тхай Шона** (НИТУ
«МИСиС») на тему: «Slot – die печатные перовскитные солнечные элементы с
p-i-n архитектурой», по специальности 2.2.3 – «Технология и оборудование для
производства материалов и приборов электронной техники»

Диссертационная работа Ле Тхай Шона посвящена разработке технологии получения перовскитных солнечных элементов с p-i-n архитектурой методами slot-die печати. Прогресс в развитии фотовольтаики на основе галогенидных перовскитов демонстрирует стремительный прогресс в повышении КПД. В 2022 г. достигнуты показатели 25.8 %, что однозначно говорит о том, что данный тип материалов не уступает кремнию в производительности, однако вопрос долговременной работы и масштабирования технологии является нерешенной проблемой. Стоит отметить, что рекордные показатели КПД для перовскитных солнечных элементов (ПСЭ) продемонстрированы на лабораторных образцах малой площади ($<1 \text{ см}^2$) и изготовлены при помощи центрифугирования (спин-коатинг) – методом, не имеющим перспектив при масштабировании промышленных процессов. Среди альтернативных методов нанесения, слот-матричная печать является привлекательной технологией изготовления высокоэффективных ПСЭ с рядом технических преимуществ, таких как: высокая скорость нанесения, отсутствие потерь материала при формировании мокрого слоя, возможность печати на гибких подложках и совместимость с процессом «рулон-на-рулон» или «лист-на-лист». Перовскитные солнечные элементы являются многослойными гетероструктурами. Важно отметить, что кристаллизация фотоактивного микрокристаллического слоя на поверхности селективно-транспортных пленок во многом определяет морфологию перовскитной пленки и имеет прямое влияние на приборные характеристики солнечного элемента. Наличие поверхностных ловушек может оказать существенное влияние на эффективность сбора фото-носителей. Также на шунтирующие свойства приборной структуры устройства может повлиять адгезия между тонкими пленками на гетерогранице. Несмотря на существенный прогресс в развитии методов печати для перовскитной фотовольтаики, единый цикл печати для всех функциональных слоев солнечного элемента представлен лишь в нескольких работах с не высокими значениями КПД $\sim 15 \%$. Масштабирование процессов жидкофазного нанесения в условиях атмосферы воздуха в едином цикле

остается сложной задачей, требующей учета специфики нанесения и пост-обработки нанокристаллических оксидных пленок, микрокристаллических слоев на основе галогенидных перовскитов и аморфных органических полупроводников. Таким образом диссертация Шона Ле Тхая **«Slot – die печатные перовскитные солнечные элементы с p-i-n архитектурой»**, направленная на разработку единого цикла SLOT DIE технологии для перовскитных солнечных элементов является, несомненно, **актуальной.**

В работе представлены комплексные исследования, направленные на разработку технологического процесса слот матричной печати в воздушной атмосфере для фото-поглощающих и зарядо-транспортных слоев перовскитных солнечных элементов.

К несомненным достоинствам работы стоит отнести успешную апробацию разработанных технологических процессов слот-матричной печати и обработки зарядо-транспортных слоев NiOx, PCBM (метано-фллеренов C60), BCP (батокупроина), а так же фото-активных слоев CH₃NH₃PbI₃ и CsCH₃(NH₂)₂PbI₃ с КПД >17 %. Полученные значения КПД являются конкурентоспособным по сравнению с лучшими опубликованными результатами для полностью слот-матричных печатных солнечных элементов с p-i-n архитектурой.

К недостаткам работы стоит отнести несколько замечаний:

- 1) Автор ограничил масштабирование модуля до двух ячеек, что не позволяет в полной мере судить о применимости метода для широкоформатного применения.
- 2) Работа представляет собой комплексное исследование технологических процессов и их влияния на приборные характеристики. Стабильность работы перовскитных элементов при воздействии эксплуатационных условий является ключевой проблемой, однако по этой части Шоном Ле Тхаем проведен лишь один тип испытаний. Данные результаты требуют дополнительных разъяснений.
- 3) По тексту автореферата диссертации встречаются грамматические ошибки.
- 4) Отсутствует объяснение выбора хлорсодержащих добавок для разных типов перовскита.

Отмеченные замечания не снижают ценности проделанной работы, значимости представленных результатов и общую положительную оценку.

Таким образом, диссертационная работа Ле Тхая Шона «Slot – die печатные перовскитные солнечные элементы с p-i-n архитектурой», является научно-квалификационной работой, в которой изложены новые научно обоснованные технические и технологические решения и разработки, имеющие определенное значение для развития оптоэлектроники и фотоэнергетики.

Диссертация по уровню и объему выполненных исследований, научной новизне и практической ценности в полной мере соответствует требованиям НИТУ «МИСиС», предъявляемым к кандидатским диссертациям в соответствии с «Положением о присуждении ученых степеней», утверждённого постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. N2 842 (ред. От 21.04.2016 г.), предъявляемым к кандидатским диссертациям, и паспорту соответствующей специальности, а ее автор Ле Тхай Шон заслуживает присуждения степени кандидата технических наук по специальности 2.2.3 – Технология и оборудование для производства материалов и приборов электронной техники.



Кандидат физико-математических
наук, PhD,
Фурасова А.Д.

Подпись Фурасовой А.Д. заверяю
Дата

Автор отзыва,

ФИО: Фурасова Александра Дмитриевна

Ученая степень: Кандидат физико-математических наук, PhD, 2021

Специальность: Физика конденсированного состояния, Электронная инженерия

Место работы: Университет ИТМО

Должность: младший научный сотрудник

Контактная информация: aleksandra.furasova@metalab.ifmo.ru