

грамм управления работой генератора изображений. Это обеспечивает реализацию нескольких проектов на одной пластине, что также существенно удешевляет производство новых изделий. Отметим, что при использовании стандартной литографии при изготовлении современных СБИС, требуется 15-25 фотошаблонов, каждый из которых стоит около 2000 долларов. Срок изготовления комплекта фотошаблонов - более 1 месяца. Для формирования критических слоев (затворы, контакты) в СБИС с минимальным топологическим размером 0,25-0,1 мкм используют специальные фазосдвигающие шаблоны стоимостью до 20000 долларов.

Разрабатываемый в настоящее время УП "КБТЭМ-ОМО" лазерный генератор обеспечит минимальный размер 0,2 мкм, а при его модернизации (использовании новой иммерсионной технологии) позволит достичь разрешения менее 0,1 мкм. Это позволит разрабатывать и изготавливать заказные изделия современного уровня.

В результате можно создать компактную (площадь менее 200 м²) недорогую (стоимость до 10 млн. долл.) микро- и нанотехнологическую линию (минифабрику), с минимальным количеством оборудования (максимум 10 кластеров), которую можно использовать в лабораториях научно-исследовательских организаций или центрах проектирования для мелкосерийного выпуска конкурентоспособной на мировом рынке продукции.

УДК 621.383.51

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ КРИСТАЛЛИЧЕСКИХ И ТОНКОПЛЕНОЧНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ НА ОСНОВЕ КРЕМНИЯ

В.П. ВАСИЛЕВИЧ¹, Е.В. ЯДРЕНЦЕВА²

¹*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
ул. П. Бровки, 6, г. Минск, 220013, Республика Беларусь
vasilevichvp@bsuir.by*

²*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
ул. П. Бровки, 6, г. Минск, 220013, Республика Беларусь
l.yadrentseva@gmail.com*

Сравнение кристаллических и тонкопленочных фотоэлектрических преобразователей (ФЭП) на основе кремния по себестоимости 1Вт мощности, КПД и себестоимости 1кВт·ч вырабатываемой ими электроэнергии позволяет делать объективные прогнозы по развитию этих направлений и обозначает ориентиры для будущих направлений научных исследований и инвестиций в технологии солнечной энергетики.

Ключевые слова: фотоэлектрический преобразователь, кристаллический кремний, аморфный тонкопленочный кремний, паритет цен на электроэнергию.

Не вызывает сомнений, что доминирующие сейчас на рынке ФЭП на основе кристаллического кремния (с-Si) будут конкурировать с тонкопленочными ФЭП. Ожидается, что в течении 5 лет массовая доля рынка тонкопленочных солнечных модулей возрастет с 10 % до 20 % [1].

Среди тонкоплёночных технологий наибольшее распространение получили ФЭП на основе тонкопленочного кремния (α -Si), теллурида кадмия (CdTe) и диселенида меди–индия–галлия (CIGS). Сравнение этих направлений оказывается в пользу тонкопленочного кремния по следующим причинам. Технология ФЭП на основе тонких пленок аморфного и микрокристаллического кремния имеет большой потенциал за счет низкой себестоимости производства, элементы на основе α -Si обладают отличными характеристиками фотоэлектрического преобразования в условиях низкой освещенности, а конструктивные материалы не дефицитны [2].

Мы использовали данные по фактической и прогнозируемой себестоимости производства 1 Ватта мощности и КПД с шагом в 5 лет [1] для ФЭП на основе кристаллического и тонкопленочного кремния. При использовании технологии на тонкопленочном кремнии возможны следующие конструктивно-технологические варианты ФЭП: с одним p-n переходом на стекле, тандем из аморфного кремния (α -Si) и микрокристаллического кремния (μ c-Si) с двумя p-n – переходами на стекле и тандем из трех p-n – переходов на базе аморфного кремния на фольге из стали (рис. 1).

Средняя стоимость электроэнергии (табл. 1), произведённой различными ФЭП сегодня составляет порядка \$0,19 за 1 кВтч электроэнергии. По прогнозам, данный показатель преодолет отметку \$0,15/кВтч к 2016 году и достигнет отметки \$0,10/кВтч к 2021 году, вплотную приблизившись к традиционным источникам электроэнергии [1]. Разброс цен между различными технологиями будет минимален, ожидается сетевой паритет цен между всеми технологиями, что позволит выбрать потребителю именно то, что ему нужно, а не то, что диктует рынок.

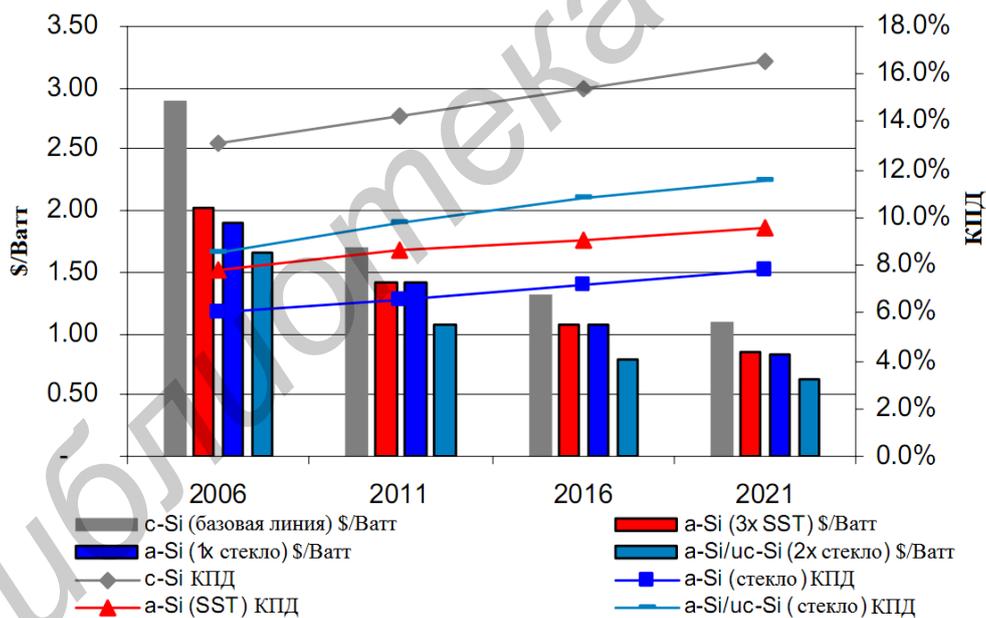


Рис. 1. Себестоимость производства 1 Ватта мощности и КПД модулей на основе кристаллического и тонкопленочного кремния

Табл. 1. Актуальные и прогнозируемые цены на электроэнергию

Технология	Подложка	\$/кВтч 2006	\$/кВтч 2011	\$/кВтч 2016	\$/кВтч 2021
α -Si (1x)	Твёрдая (стекло)	0,28	0,21	0,15	0,12
α -Si (2x)	Твёрдая (стекло)	0,29	0,17	0,13	0,10
α -Si (3x)	Гибкая (сталь)	0,34	0,19	0,14	0,11
c-Si	Твёрдая (пла- стины Si)	0,32	0,19	0,14	0,11

По приведённым выше данным можно сделать следующие выводы:

- при создании фотоэлементов на кристаллическом кремнии, неизбежно предварительное изготовление самого поликристаллического кремния, а также его модификация и резка на пластины, что определяет более высокую себестоимость ФЭП на его основе;
- тонкоплёночная технология, несмотря на более низкие значения КПД, выглядит перспективнее и предпочтительнее, как в экономическом плане, так и в технологическом;
- все проанализированные технологии, как кристаллическая, так и тонкоплёночные имеют потенциал, чтобы достичь к 2021 году сетевого паритета цен на уровне готовой фотоэлектрической системы, и способны занять свою нишу на рынке.

Список литературы

1. *O'Rourke, S. Technology and economics: thin films and crystalline silicon / S. O'Rourke, P. Kim, H. Polavarapu // Deutsche Bank Global Markets Research. USA, 9 July 2007. P. 75 – 98.*
2. *Радже Д., Дик Д. Анализ мирового рынка поликристаллического кремния/ Д. Радже, Д. Дик// «Евразийский банк развития». 2009. С.75.*