

КОРЕЙСКАЯ ПРОМЫШЛЕННАЯ ЦИВИЛИЗАЦИЯ И ПРОГРЕСС В ЭЛЕКТРОНИКЕ

Н.Сощин* soschin@mail.ru

Автор, который не раз бывал в Республике Корея на заводах и фабриках электронной промышленности по производству кремниевых солнечных батарей и полупроводниковых источников освещения, делится своими впечатлениями. Подробно рассмотрены деятельность и структуры государственных научно-исследовательских институтов и частных компаний.

Прежде всего рассмотрим состояние промышленности кремниевых солнечных батарей в Республике Корея. Первые эксперименты с кремниевыми солнечными батареями связаны с работами лауреата Нобелевской премии Уильяма Шокли по определению эффективности фотопреобразования кремниевых р-п-переходов. Интенсивно развиваться солнечная энергетика начала с 2005 по 2010 год. В этот период мощность установленных в мире солнечных электростанций ежегодно возрастала в среднем на 35–40%, достигнув максимума – 2417 МВт – в предкризисный 2008 год. Стабилизация темпов прироста мощности на уровне 30% в последующие годы только подтвердила незыблемость поступательного развития солнечной энергетике.

В Корею внимательно следят за прогрессом в этой области. Объединение действий правительства с пожеланиями граждан и общества в целом на примере производства электроэнергии

достаточно точно характеризует Республику Корея как рациональное, целенаправленное, но и жесткое государство. Пожелания каждого гражданина страны должны соответствовать мерам, принимаемым государством для своего оптимального развития. И действительно, жители Кореи считают себя сподвижниками и исполнителями государственной программы по увеличению доли возобновляемых источников (Солнце и ветроэнергия) электрической мощности до 7% к концу 2017 года. Это не единственная программа в области электроэнергетики. В программе увеличения ВВП рассматриваются как расширение производства энергетически экономных светодиодных ламп и проблема твердотельного освещения (SSL), так и системы "умного света", позволяющие освещать только те места, где находятся люди или транспортные средства.

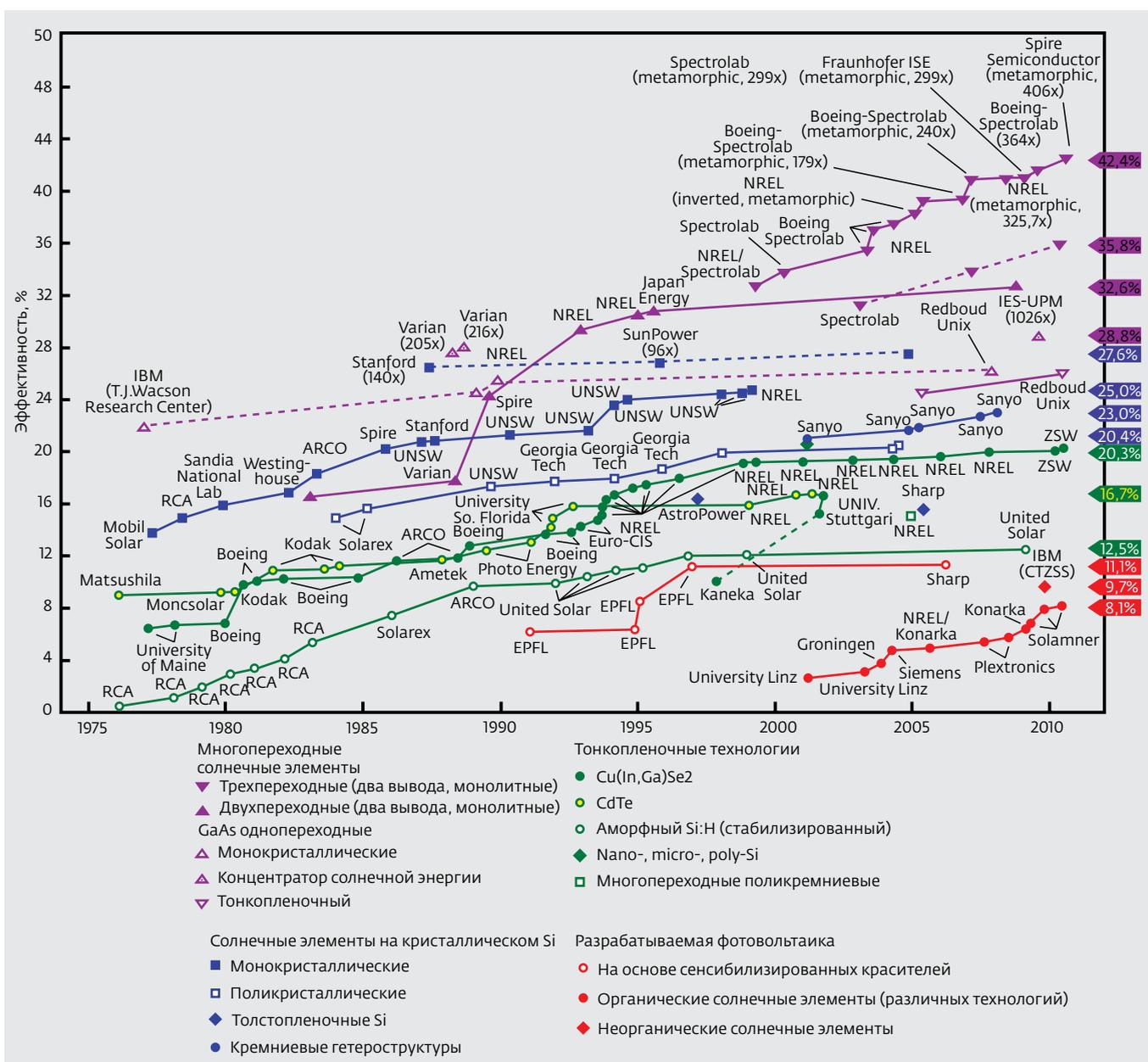
На составленной Департаментом возобновляемых источников энергии США диаграмме, фиксирующей значения эффективности лучших солнечных элементов (см. рисунок), видно, как совершенствовались солнечные элементы различных конструкций, изготовленные из различных неорганических и органических материалов. Подобную диаграмму приходилось видеть

* Лауреат государственной премии СССР, профессор нанотехнологии восточно-китайского нормального университета, Шанхай (КНР).

в кабинетах корейских инженеров и ученых. Из диаграммы следует, что на первых этапах развития солнечной энергетики приоритетную роль играли американские компании - Boeing, Kodak, Varian. Интенсивно велись исследования в Стэнфордском и Калифорнийском университетах. Большую роль сыграли работы компаний Bell Labs и особенно SunPower. Благодаря достижению этой компанией реального КПД в 23% теоретики были вынуждены "отодвинуть" предельный порог эффективности элементов на монокристаллическом кремнии до 28%. В дальнейшем в исследованиях участвовало все большее число европейских

компаний: французские, испанские и итальянские, лаборатория Фраунгофера (ФРГ). Эта мировая проблема не обошла и Японию (Sanyo, Toshiba, Sony длительное время были среди лидеров этой гонки).

К сожалению, на диаграмме не нашлось места результатам работ советских ученых. Так, уже в 1957 году на первых отечественных спутниках использовались кремниевые солнечные батареи, изготовленные в Институте источников тока под руководством Н.Лидоренко и М.Б.Колтуна. Эффективность этих элементов была близка к 8-10%, т.е. они и были намного



Динамика совершенствования солнечных элементов (данные журнала Journal of Solar CELL, 2010)

эффективней маломощных образцов компании RCA. В верхней половине диаграммы отсутствуют рекордные данные, достигнутые на многослойных каскадных структурах из арсенида галлия в Физико-техническом институте им. А.Ф.Иоффе под руководством лауреата Нобелевской премии Ж.И.Алферова.

"Большой Успех не бывает быстрым" – с этой формулой Конфуция нельзя не согласиться, глядя на диаграмму. Интенсивные исследования заняли 35 лет, тогда как вся проблематика известна уже более 60 лет. Сегодня наступила пора промышленной зрелости солнечного проекта и ответа на вопросы о том, насколько глубокими и исчерпывающими были предшествующие изыскания. Ответы искали исследователи и инженеры всех континентов. Ежегодно собирались многочисленные конгрессы, совещания и симпозиумы. Издавались сотни книг и отчетов. И, наконец, количество было преобразовано в качество, и накопленные технические знания позволили приземлиться с высот космических кораблей и станций на наземные стационарные средства. "Приземление" и дальнейшее ускоренное развитие солнечной энергетики привело к прогнозу возможного отказа в ближайшие 50 лет от органического топлива для получения электроэнергии.

Диаграмма на рисунке, по мнению автора, является и наглядной схемой для анализа развития творческого потенциала в такой важнейшей области техники, как автономная электроэнергетика и фотовольтаика. Правда, в 80-е годы прошлого столетия промышленность начала разрабатывать не только высокоэффективные солнечные элементы на монокристаллическом кремнии, но и поликристаллические и тонкопленочные элементы (см. таблицу). Основная причина этого качественного скачка – требования уменьшения стоимости кремниевых элементов и экономии особо чистого кремния.

На примере улучшения основных параметров различных вариантов кремниевых солнечных элементов рассмотрим подход к инновациям в Республике Корея. Прежде всего, как следует из

таблицы, эффективность поликристаллических солнечных элементов ниже, чем у монокристаллических на 30%. Однако стоимость пластины поликристаллического кремния практически в два раза и даже более меньше стоимости монокристаллической пластины. Сейчас в КНР, ФРГ и РФ построены комбинаты по производству поликристаллического кремния мощностью 2000 т продукта солнечного сортамента, благодаря чему он перестал быть дефицитным и превратился в дешевый промышленный продукт (стоимость пластины поликремния толщиной 200 мкм и площадью 230 см² не превышает 3 долл.). Сборный солнечный модуль, содержащий 72 пластины, уже при энергетической эффективности 16% имеет преимущество по стоимости перед дорогим монокристаллическим материалом. При достижении предельного значения эффективности (18,2%) такие модули будут вне конкуренции. Конструкции тонкопленочных элементов из особо чистого кремния, позволяющие снизить стоимость более чем в 30 раз, к сожалению, еще далеки от широкого практического внедрения из-за их невысокой эффективности и большой площади элементов. Поэтому в Корее было отдано предпочтение разработке поликремниевых элементов, близких по эффективности к элементам из монокристаллического кремния (16–18%). Естественно, их стоимость не должна была существенно превышать стоимость исходной пластины поликремния. Безусловно, задача сложная, многоплановая и вероятно, имеющая различные пути решения.

Построение научных институтов и их ассоциаций в Республике Корея даже в деталях напоминают советскую систему. Более 2/3 научных учреждений страны находятся на достойном государственном иждивении, но при этом они могут выполнять заказы частных компаний. Государственные институты подчинены Министерству науки и технологий Кореи, которое преимущественно осуществляет финансовое и директивно-плановое управление. Чтобы попасть на прием к заместителю министра, достаточно обратиться к его секретарю и предъявить паспорт, на что уходит 5 мин.

Основные свойства солнечных элементов на основе различных материалов

Кремний	Чистота, %	Основные примеси	Подвижность электронов, см ² ·В·с	Эффективность, %
Монокристаллический	99,9999	Кислород	1200–1500	23,8
Поликристаллический	99,995	Кислород, углерод	200–400	18,2
Тонкопленочный	99,99	Кислород, углерод	20 (толщина 0,5 мкм)	8–10

В Корейском институте энергетических исследований (KIER), в котором работают более 120 ученых со степенью доктора философии, определяют внутренний распорядок и контролируют проводимые исследования президент и Ученый совет. На общем заседании Совета утверждается тематика 10 отделов института.

На каждого из 600 постоянных и временных сотрудников института расходуется ~0,5 млн. долл. в год, поэтому проблема перетягивания "бюджетного одеяла" между отделами практически отсутствует. Еще одна характерная особенность заседаний – мягкая и очень уважительная обстановка даже при горячих научных дискуссиях.

Большинство правительственных научных программ рассчитано на пять лет. Каждую пятилетку бюджет института, работающего более 30 лет на ниве корейской энергетики, увеличивается в два раза. На заработную плату в институте расходуется 45–55% бюджетных средств (для практикантов и дипломников предусмотрены специальные ассигнования), на материалы – до 35%, на энергопотребление – менее 10%. Большой объем бюджетных средств расходуется на оборудование, которое, как правило, обновляется в течение трех лет. Большая статья расхода бюджетных средств – информационные затраты (бесплатный Интернет, оплата копий статей и патентов, скачиваемых из Интернета). Одно только международное издательство Elsevier публикует более 1500 периодических научных изданий (по физическим наукам – более 300). Из всех этих изданий можно бесплатно скачать необходимую статью или обзор. Издательству журналов платит правительство Республики Корея, согласно заключенным с инженерами и учеными многолетним договорам.

В России общедоступными являются только четыре журнала Физико-технического института им. А.Ф.Иоффе и журнал "Квантовая электроника" ФИАН им. А.Н.Лебедева. Для ряда учебных институтов доступ к иностранным журналам возможен в отдельные дни месяца. Но до общедоступности еще очень далеко.

Патентные базы Кореи, США, Европейского патентного агентства Espacenet также бесплатно доступны ученым и изобретателям корейских институтов. За полные тексты патентов и изобретений в России необходимо платить ФИПС, работа поисковика которого далека от совершенства из-за постоянных сбоев.

В библиотеке KIER исследователь может найти многие международные и американские журналы (например, издания Американского

электрохимического общества, стоимость годовой подписки на которые превышает 10 тыс. долл.), доступность к которым в Интернете ограничена. Таким образом, государство снимает и эту тяжелую ношу с плеч инженеров.

Необычным является доступность книг, брошюр, сборников статей или монографий ведущих мировых издательств. Стоимость этих прекрасно изданных фолиантов обычно превышает 500 долл. Корейские ученые нашли оригинальный способ использовать финансовую помощь государства для одновременного получения нескольких подобных книг. Ежемесячно институт посещает представитель одного из крупнейших книжных издательств Кореи. В фургоне его автомобиля можно найти более двух тысяч книг, вышедших в течение предыдущего месяца по тематике института. Сотрудник имеет право бесплатно взять любую книгу, отдав представителю издательства свою визитную карточку. Эта карточка фиксируется регистратором научной библиотеки института. Сотрудник может пользоваться нужной ему книгой в течение года. Таким образом, пользователь своевременно получает информацию без задержек, без ограничений и без финансовых затрат. А информацию не зря величают воздухом ученого.

Система поиска необходимых для работы химических реактивов подобна информационной системе. Ежемесячно институт посещают представители компаний, выпускающих реагенты, и знакомят исследователей с подробными каталогами новых или постоянно используемых в институте реагентов. Марки реагентов классические: чистые, чистые для анализа, особо чистые. В последнее время появилась градация наноразмерная, в соответствии с которой в продажу поступают чистые или особо чистые оксиды всех стабильных элементов (размер зерен продукта 10–50 нм). Для постоянных сотрудников института предусмотрена дополнительная услуга по доставке пробных партий необходимых реагентов (до 3 г), которых обычно достаточно для первичного эксперимента. В случае пригодности пробной партии сотрудник заказывает необходимый объем реагента. Обычно при этом стоимость его чисто символически снижается на 5%, что способствует установлению более тесных контактов потребителя и поставщика. Такие реагенты, как сложные соли или высокотемпературные карбиды поставляются в Корею международными компаниями Merck и Oldpiscn. Цена этих реагентов очень высокая, поэтому иногда их потребление может быть ограничено. Реакционные газы, например галогенсодержащие

фреоны или инертно-газовые фториды, поставляются так же, как и химические реактивы. При этом возможны более частые поставки малых объемов (до 1 л) высокотоксичных и взрывоопасных газов. Поразительно, что уже на третий год появления какого-нибудь нового элемента, например, углеродных нанотрубок, фуллеренов, графеновых чешуек или квантовых точек исследователь может их приобрести, оформив заказ. 50 мг CdS/CdSe квантовых точек стоят 50 долл. Эти наноматериалы, а также люминесцирующий нанокремний использовались без ограничений в проводимых нами в KIER исследованиях новых солнечных элементов.

Производство любого нового продукта, например сложной каталитической композиции суперконцентрата из полимера и наполнителей или светящейся субстанции, требует специальной технологической аппаратуры – многорежимных устройств термообработки в различных газовых атмосферах, смесителей, диспергаторов или ультразвуковых устройств. В ряде случаев необходимы и более сложные устройства, например, экструдеры для формирования полимерных пленок или покрытий. Стоимость таких установок обычно превышает 10 тыс. долл. Заявка на необходимое оборудование рассматривается научным советом подразделения и при обосновании заказа исследователь получает право связаться с корейской компанией-производителем. Обсуждение проводится на рабочем месте исследователя, поэтому учитываются и размеры помещения, и объем вытяжных устройств в нем, и доступность оборудования для обслуживания. Старого испытательного или технологического оборудования в лабораториях и цехах практически нет.

В Республике уже много лет наряду с девизом "корейское – превосходное" существует правило "все должно изготавливаться в Корее". Примеров масса. Это и скоростные поезда, изготовленные на заводах страны, и выпуск до 10 млн. автомобилей собственного дизайна и сборки, и междугородные автобусы с авиационными сидениями, в спинки которых встроены ЖК-дисплеи.

Основная гордость электроники Кореи – информационные экраны различных конструкций и принципов действия. Компания Samsung в 2010 году выпустила 35 млн. телевизоров и видеомониторов, ее конкурент LG – около 25 млн. На долю остальных компаний в мире пришлось 40% рынка этих продуктов. Доходы от продажи видеоустройств полностью покрывают затраты на закупку страной нефти, угля и газа.

Необходимо рассказать о производственных помещениях институтов, университетов и фабрик Кореи. Прежде всего, их облик определяется функциональной принадлежностью организации. В институте KIER 16 производственных зданий с одним-шестью этажами. Частично здания соединены крытыми переходами. В подвальных помещениях каждого здания находятся обязательные спортивные помещения с массой тренажеров. Не забыта и профилактика здоровья: каждый сотрудник при необходимости может измерить артериальное давление и температуру, посетить институтского врача.

Восьмичасовой рабочий день в научных учреждениях Кореи начинается рано (обычно в 7 утра) без раскочки и бесед в курилках, хотя на каждом этаже имеются диваны и столы для собеседований. Не возбраняется продление рабочего дня. В Корее до сих пор существуют рабочие субботы (их установили еще в 60-е годы прошлого столетия, равно как и семидневные отпуска). Сотрудники всех без исключения организаций имеют право на ежедневное бесплатное питание – одно, двух- или трехразовое в зависимости от длительности его ненормированного рабочего дня. Руководство компаний и институтов пользуется теми же привилегиями. Это не игра в дешевый популизм, а естественное стремление быть вместе со всеми.

Оплата труда в институтах строго дифференцирована. Научный сотрудник с ученой степенью получает ощутимо больше, чем сотрудник, не имеющий степени. Кстати, присваивать ученую степень могут только университеты и политехнические институты. Ученый совет KIER, например, такого права не имеет. В стране нет единого квалификационного органа типа российской Высшей аттестационной комиссии. Научные исследования проводятся преимущественно в университетах и государственных институтах. Крупнейшие "локомотивы" корейской промышленности – "чеболи" – имеют очень большие исследовательские центры.

Существует незыблемое правило, согласно которому по достижении 65 лет научный сотрудник покидает государственное учреждение. Но ученые предусмотрели для себя возможность создания небольших частных компаний, которые арендуют оборудование и помещения "родного" предприятия.

* Чеболь – конгломерат, который представляет собой группу формально самостоятельных фирм, находящихся в собственности определенных семей и под единым административным и финансовым контролем.

При этом сотрудник не "рвет пуповину", связывающую его с местом прежней научной деятельности. Если условия аренды этих небольших частных компаний превышают их возможности, то постаревший исследователь может прибегнуть к услугам технологических деревень и бизнес-инкубаторов, где предусмотрено все необходимое для работы. По наблюдениям автора, бюджет подобных компаний составляет 3-12 млн. долл. при численности наемных сотрудников – 6-15 человек. Арендная плата за помещения не превышает 10-15% бюджетных возможностей новой компании.

Перейдем теперь к изобретательской активности (креативности) корейских исследователей и инженеров, подразумевающей поиск новых, нетрадиционных решений в науке или искусстве и доведение своей творческой идеи по логического завершения. Рассмотрим творчество корейских ученых, так как оно представляется со стороны доброжелательного и непредвзятого наблюдателя. Прежде всего, возникновение, оформление и доведение идеи до патентного решения или заявки, а также до публикации в научных статьях – обязательная цель корейских инженеров и ученых. Другими словами, человек может быть известен в научном или техническом мире ровно настолько, насколько известны его патентные решения или научные труды. Из этого очень простого догмата следует правило обязательного патентного закрепления своего инженерного или научного ранее не опубликованного приоритета. Все мои корейские друзья имеют один или два десятка различных патентов.

Второе важное условие патентования работ корейских исследователей заключается в том, что государственный институт или частная компания обязательно берет все организационные заботы и финансирование на себя. В патентных бюро институтов работают квалифицированные юристы и инженеры, оказывающие помощь изобретателю. Патентные заявки подаются на корейском языке. Основной офис Патентного ведомства Кореи находится в здании Министерства науки и технологии республики. Связь изобретателя с ведомством – полная, прямая и быстрая. Поданная заявка на патент проходит первичную экспертизу в ведомстве, при этом устраняются все мелкие недочеты и несурезицы. По характеру выкладки заявок на общественное обсуждение патентная система Кореи схожа со всеми мировыми системами. Выложенная патентная заявка публикуется в течение года. В связи с ограниченным распространением корейского

языка, с заявкой обязательно публикуется реферат на английском языке. Через год подается прошение на экспертизу. Общая стоимость двух этапов подачи заявки составляет около 1 млн. вон (~800 долл.). Переписка с экспертом в корне отличается от "зубодробительной" переписки с ФИПС РФ, где заявитель постоянно штрафует за задержку ответа даже на один день или за неточно воспроизведенную подпись. Корейскому патентному ведомству присущи абсолютная уважительность и прекрасное отношение к заявителю. Стороны хорошо понимают, что выполняют крайне важное для корейского государства дело. За годы реализации корейского "экономического чуда" (1960-2010) страна с нулевой позиции в мировом патентном рейтинге заняла первое место по числу патентов на 1 млн. жителей (в это число входят не только инженеры и ученые, но и детишки, и глубокие пенсионеры).

В 2010 году было получено около 2900 патентов (в расчете на 1 млн. жителей) и 133,4 тыс. документов на всю республику. Приблизительно столько же в Японии, существенно меньше в США, Германии, Нидерландах, Великобритании, Франции и Канаде. Двадцатку креативных стран замыкает "малокреативная" Российская Федерация с ее 145 ежегодными документами. Общее число патентных документов неизмеримо больше в КНР, хотя число патентов на 1 млн. жителей существенно меньше.

В чем же основная причина столь высокой креативности корейских ученых и инженеров? Простого и односложного ответа, скорее всего, не существует. Здесь и практически всеобщее высшее образование жителей страны (88%), и ментальность корейского человека, который стремится выделиться на фоне своих друзей и соратников. Безусловно, важную роль играет политика государственных и частных институтов, которые гласно и негласно устанавливают необходимый план ежегодных патентных заявок. KIER за 30 лет своего существования получил около 1,5 тыс. патентных документов, не считая 900 документов, поданных бывшими сотрудниками института, работающими в аффилированных с KIER частных компаниях. Учитывая 10 основных направлений исследований института, в год на одно направление приходится восемь патентных документов. Хороший уровень, если принять во внимание, что "яблоко Ньютона" падает на творца только однажды.

В компаниях-супергигантах, таких как Samsung, число патентных документов

составляет 6 тыс. в год, а патентных документов высшего уровня, подаваемых в Патентное ведомство США, – более 3 тыс. При общем числе сотрудников этого уникального даже по мировым меркам гиганта-чеболя, равном в 150 тыс. человек, число патентных документов, приходящихся на 1 млн. жителей, тоже значительно – более 18 тыс.

На вопрос, в чем причина такого интенсивного патентного посева, ответ ясный и однозначный: структура компании Samsung требует очень большого числа патентных документов, иначе она "потеряется" на фоне конкурентов – концернов Philips или Sony. В компании Samsung действуют рычаги финансового поощрения и директива обязательной повышенной доли подачи сотрудниками патентных документов.

Что чаще всего патентуется в области солнечной энергетики и твердотельных средств освещения в Корее – вопрос не праздный. Это – новые материалы (катализаторы, ферриты, люминофоры, стекло, керамика, сплавы) и новые электронные приборы (нитридные светодиоды, наногетероструктурные композиции, микросхемы и полупроводниковая память). Успехи в области миниатюрных нитридных гетеропереходов, имеющих люминофорные многоцветные преобразователи, позволили инженерам компаний Samsung и LG вдохнуть новую жизнь в активноматричные ЖКД. Характеристики этих приборов – высокие яркость, цветовая насыщенность и контрастность – практически недостижимы для остальных производителей дисплеев. Об этом

известно не только в Корее, но и в России, где разрабатываются бортовые индикаторы с такими же высокими параметрами.

Корея знаменита не только своей микроэлектроникой и дисплейной техникой (мало известно, что всю бортовую авионику для гражданских и военных самолетов США изготавливают на корейских заводах, правда, на основе американских комплектующих). Она известна и как производитель первоклассных топлива и органических масел для двигателей, особо прочных многослойных полимерных пленок для теплиц и оранжерей, многотоннажных танкеров.

Корейские менеджеры и руководители взяли из учения Маркса основное – методы получения большой прибавочной стоимости – и производят миллионы автомобилей, телевизоров, компьютеров, часов, телефонов, солнечных батарей, миллионы тонн нефтепродуктов, миллиарды киловатт-часов электроэнергии, миллиарды метров текстильных материалов. Все эти изделия, поставляемые на рынок обязательно защищены "непробиваемыми" патентными документами. Валовой доход на душу населения Кореи близок к 35 тыс. долл., что обеспечивает всем ее жителям достойное их труда безбедное существование. Наблюдавшаяся на заре рождения республики "утечка мозгов" в Австралию и США практически прекратилась.

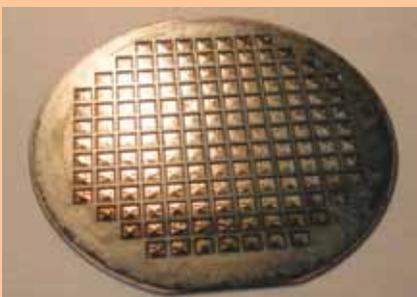
Автором за полгода непрерывной работы в Корее было подано восемь патентных заявок, положенных в основу строящейся солнечной электростанции мощностью 5,8 МВт. ●

ТОПЛИВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ НА КРИСТАЛЛЕ

Специалисты Гарвардского университета продемонстрировали пластину, содержащую 145 топливных "твердооксидных" элементов, каждый из которых расположен на отдельном кристалле. По утверждению разработчиков, подобные топливные элементы на кристалле могут заменить небольшие аккумуляторные батареи в качестве источников питания полупроводниковых приборов. Ранее исследовательская группа подтвердила правильность концепции изготовления тонкопленочных мембран для топливных элементов на твердом оксиде, но лишь для элементов очень малых размеров. Теперь, в сотрудничестве с корпорацией SiEnergy Systems, специалисты университета проде-

монстрировали, что их технология пригодна и для изготовления элементов больших размеров.

Разработчики изготовили топливные элементы, размеры которых были увеличены со 100 нм до 5 мм при толщине мембран 100 нм.



Плотность мощности топливного элемента достигла 155 мВт/см² при 510°С.

В ближайшие планы разработчиков входит изготовление наноструктурированных анодов для альтернативных видов топлива и микроструктурированных электродов, которые позволят создать миниатюрные топливные элементы для замены небольших батарей.

Финансирование проекта осуществлялось Национальным научным фондом (NSF) и Центром наноразмерных систем Гарвардского университета, являющегося членом Национальной нанотехнологической инфраструктурной сети (National Nanotechnology Infrastructure Network) NSF.

EE Times, 4/5/2011