

УДК 339.564.339.137.2(447)

Быткин Сергей Витальевич⁽¹⁾, начальник отдела, кандидат технических наук
Критская Татьяна Владимировна⁽²⁾, заведующая кафедрой, доктор технических наук

ВОССТАНОВЛЕНИЕ И РАЗВИТИЕ МЕТАЛУРГИИ ПОЛУПРОВОДНИКОВОГО КРЕМНИЯ КАК ВОЗМОЖНЫЙ ПУТЬ ПРЕОДОЛЕНИЯ ДЕИНДУСТРИАЛИЗАЦИИ СТРАНЫ

⁽¹⁾ ПАО «Металлургический комбинат «Запорожсталь»

⁽²⁾ Запорожская государственная инженерная академия

Обоснована возможность поиска «ниши» для улучшения структуры экспорта Украины путем поставок на мировой рынок high-tech материала - монокристаллов кремния, выращенных из расплава и легированных германием (Si<Ge>), для полупроводниковой промышленности. Дан анализ отраслей промышленности, в которых возможно и целесообразно применение устойчивых к действию ионизирующих излучений *ppp*-, *pppr*-структур дискретных приборов, изготовленных на Si<Ge>. Показано преимущество использования специализированной элементной базы для электропривода промышленного назначения, предназначенного для длительной эксплуатации под действием наземного ионизирующего излучения.

Ключевые слова: модернизация, экономические интересы, металлопотребление, высокотехнологичная конкурентоспособная продукция, полупроводниковый кремний, радиационная стойкость

В последнее время продукция Украины, поставляемая на мировой рынок, ограничена черными металлами, минеральным сырьем, продукцией химической промышленности, сельскохозяйственными, продовольственными товарами [1,2]. Основной причиной неудовлетворительной структуры экспорта является неэффективность отраслевой структуры индустрии Украины: более 2/3 общего объема промышленной продукции приходится на отрасли, производящие товары промежуточного потребления, то есть сырье, полуфабрикаты и энергоресурсы. На низком уровне находится инновационная деятельность, преобладают (95 %) производства низких (III) и средних (IV) технологических укладов, а доля V и VI высокотехнологичных укладов находится на уровне ~5 %. Пренебрежение к модернизации усилило процессы деиндустриализации экономики страны, что становится особенно заметным в условиях финансово-экономического кризиса. Технологическое отставание создает угрозу конкурентоспособности производимых товаров, рациональной товарной структуре и сбалансированности экспорта страны [3], то есть противоречит национальным экономическим интересам Украины [4]. Уменьшение поставок наблюдается в экспорте продукции машиностроения

на 2,2 млрд. долларов США (в 9,3 раза), товаров металлургического комплекса – на 4,1 млрд. долларов США (в 1,7 раза), продуктов минерального происхождения (в том числе, железной руды в 2,2 раза, на 2,2 млрд. долларов США), химической продукции (удобрений в 1,5 раза, на 0,8 млрд. долларов США). Уменьшение экспорта товаров, производимых АПК и пищевой промышленностью достигло 16,1 % (1,5 млрд. долларов США) [5].

Основным направлением активного противодействия угрозам мирового рынка является диверсификация экспорта, следовательно, стратегической задачей становится изменение структуры украинского экспорта на базе модернизации производственной базы. Энергоемкость продукции металлургических предприятий Украины выше, чем в странах Европы и мира, в частности, в доменном производстве - на 14-20 %, в сталеплавильном - на 16-40 %, в прокатном - на 20-50 %. Инвестиции в обновление промышленных технологий могут способствовать значительному сокращению энергозатрат и повышению производительности. Вместе с тем, в Украине существуют резервы металлопотребления. Это необходимость замены критически изношенного металлофонда – около 300 млн. т стального проката в конструкциях, зданиях, сооружениях, инфрастр-

руктурных объектах и изделиях в Украине. Приблизительно 80 млн. т занимают трубы, 15 млн. т – транспортные средства, более 100 млн. т сосредоточено в жилищно-коммунальном хозяйстве (ЖКХ). Однако государство пока не в состоянии профинансировать столь масштабное обновление металлофонда, и нужен поиск соответствующего механизма инвестирования, например, создание правового института государственно-частного партнерства. В связи с уменьшением инвестиций в металлургию и научные исследования, Украина не может конкурировать с развитыми экономиками в выпуске высокотехнологичной продукции, а ориентация на расширение ассортимента продукции для внутреннего рынка по устаревшим технологиям приведет лишь к успешной конкуренции с мировыми рынками металлолома. Последняя из принятых в Украине программ развития горно-металлургического комплекса предусматривала вложение в обновление металлургических комбинатов примерно 30 млрд. долларов США. Но даже при их наличии, на коренное обновление отечественной металлургической отрасли и доведение ее до современного уровня потребовалось бы не менее 15-20 лет. Приоритетными направлениями являются: масштабное внедрение технологии вдувания пылеугольного топлива (что дает экономический эффект за счет отказа от природного газа при выплавке чугуна), модернизация прокатного производства, совершенствование процессов внепечной обработки стали. Достигнутый уровень мирового производства стали (≥ 500 млн. т) свидетельствует, что конкурентоспособной продукция металлургических отраслей может стать при неизбежном выводе из эксплуатации устаревших и убыточных производств с негативными социальными последствиями, например, мартеновского производства (в силу высокой цены масштабно потребляемого природного газа и экологических проблем). Конкурентным преимуществом украинской металлургии остаются выгодное географическое положение предприятий возле речных и морских портов, выгодная логистика в отгрузках металла на основные рынки

(Европа, Российская Федерация, Ближний Восток) и собственные рудные и угольные месторождения.

Металлургические заводы Украины специализируются на изготовлении низколегированного металла, в том числе чугуна, слитков и относительно простого проката различных видов. Организации производства наукоемкой продукции не уделялось должного внимания, что является стратегической ошибкой Украины [6]. Прогресс зарубежной черной металлургии в значительной степени определяется уровнем прикладных исследований. Анализ тематики научно-исследовательских институтов, специализирующихся в области черной металлургии, демонстрирует направленность на разработку технологии сталей, обладающих особыми эксплуатационными свойствами, например, улучшенными механическими свойствами за счет изменения процессов упрочнения, в том числе с использованием радиационных технологий. Координацию исследовательских работ по разработке новых технологий, обеспечивающих производство сталей и сплавов с повышенными эксплуатационными свойствами, осуществляют специализированные научные центры: «*American Iron and Steel Institute*» (США), «*Iron and Steel Institute of Japan*» (Япония), «*Max-Planck für Eisenforschung*» (Германия), ЦНИИЧермет (Российская Федерация). Результаты научных разработок, защищенные патентами, могут в короткие сроки обеспечить продажу на международном рынке продукции с новыми потребительскими свойствами, что компенсирует затраты на выполнение НИОКР.

Следует также учитывать, что в связи с усилением процессов либерализации и интенсификации международных экономических отношений, усиления взаимозависимости стран в условиях значительного разрыва по уровню социально-экономического и технологического развития, неизбежно обострение проблемы неэквивалентного обмена товарами и услугами. Ввоз продукции с высокой долей добавленной стоимости и частично ввоз резервной валюты (значительная часть которой возвращается обратно через

выплату международных кредитов, без конвертирования в товар) оказывает определяющее воздействие на разрыв в величине национального богатства торгующих стран. При несоблюдении политики приоритета национальных интересов происходит вытеснение и замена человеческого капитала природным. Иллюстрацией снижения востребованности интеллектуальных профессий в Украине с точки зрения возможности их использования для производства высокотехнологичной и конкурентоспособной на мировом рынке продукции являются данные табл. 1.

Таблица 1 - Доля выпускников вузов по специальностям, используемым при разработке и производстве наукоемкой продукции, от общего количества выпускников [7]

Специальность	Доля выпускников вузов
Нетрадиционные источники-энергии	0,042
Атомная энергетика	0,042
Робототехнические системы и комплексы	0,013
Генетика	0,013
Химия	0,159
Прикладная физика	0,039
Экспериментальная физика и физика плазмы	0,003
Физика ядра и элементарных частиц	0,008
Физика твердого тела	0,024
Физика	0,165
Микробиология и вирусология	0,041
Биохимия	0,023

Основным направлением развития экспортного потенциала является развитие отраслей и видов производства, ориентированных на увеличение доли наукоемкой высокотехнологичной продукции и доведение ее до структурных соотношений, характерных для развитых стран. В ближайшие годы Украина не сможет существенно изменить товарную структуру экспортных поставок. Продукция машиностроения (в основном ВПК), некоторых видов продукции черной металлургии, пищевой и химической промышленности в ближайшей перспективе останется основным источником валютных поступлений от экспорта. В то же время,

Украина обладает серьезными научно-техническими заделами и производственным опытом в ряде приоритетных отраслей промышленности (оборонная, аэрокосмическая, судостроительная, химическая, тяжелое и энергетическое машиностроение, информационные технологии, агропромышленный комплекс и транспортная инфраструктура). Для Украины крайне актуальной является задача изменения приоритетов развития экономики, которые должны включать отход от аграрно-сырьевой низкотехнологической экспортной ориентации, диверсификацию самой экспортной структуры в сторону значительного увеличения доли высокотехнологичных изделий и услуг.

Убедительно доказано [8], что диверсификацию могут обеспечить наукоемкие отрасли промышленности, прежде всего, полупроводниковая промышленность. Практически вся современная машиностроительная продукция является мехатронной, то есть имеющей механические исполнительные органы и электронные системы управления. Совокупность механизмов точной механики с электронными, электротехническими и компьютерными компонентами, обеспечивающая интеллектуальное управление функциями проектирования, производства машин, оборудования и их систем незаменима для военной техники, транспорта, медицины, сельского хозяйства, строительства, коммунальных нужд (энергосбережение) и др. Однако, производство микро-, тем более нанoeлектроники, требует значительных финансовых затрат (в строительстве современного предприятия требуется вложить ≥ 1 млрд. долларов США), причем эффективность вложения средств не столь очевидна, как от проекта создания нефтеперерабатывающего завода или газопровода. Поэтому правительство зачастую не стремится отвлекать ограниченные у каждого государства финансовые ресурсы на долгосрочные проекты, к числу которых относятся металлургия полупроводников и микроэлектроника [6]. Тем не менее, показателен пример Республики Беларусь, где с целью поддержания экспорта машиностроительной продукции в государственных программах

развития автотракторной и сельскохозяйственной техники разрабатываются серии специализированных микросхем для новых модулей сельскохозяйственной техники, использующих технологические процессы с субмикронными проектными нормами [9]. Используются государственное финансирование приоритетных НИОКР, предоставление налоговых льгот высокотехнологичным предприятиям, бюджетное финансирование, а также создаются оптимальные условия для привлечения иностранных инвесторов. Даже используя устаревшие технологии, «Интеграл» (г. Минск) до сих пор является одним из самых крупных предприятий в области микроэлектроники во всей Восточной Европе. Основные заказы предприятие получает из Российской Федерации (78,5 %). Доля поставок в другие страны невелика (в Евросоюз – 1,8 %, Южную Корею – 5,5 %, в КНР – 12 %), что недостаточно для обновления основных фондов. Однако вовлечение Республики Беларусь в российские программы «Основа» (современные субмикронные технологии), «Щит» и «Космос» свидетельствует о признании высокого технологического уровня предприятий, и выпускаемая ими продукция микроэлектроники, в обозримом будущем, может стать недоступной украинским предприятиям.

Необходимо создавать собственный замкнутый производственный цикл изготовления изделий электронной техники, как, например, поступает Туркменистан [10], возложив финансирование проекта на экспортеров газа.

Украина, имевшая развитые наукоемкие и высокотехнологичные отрасли промышленности, в частности, замкнутый цикл производства полупроводникового кремния и приборов на его основе, в результате политических и макроэкономических преобразований в настоящее время находится в крайне тяжелом состоянии, в том числе, вследствие низкой интеграции научного потенциала страны в промышленный. Проведенный нами анализ показывает, что перспективным фактором для экономики Украины может быть имеющаяся сырьевая, технологическая, научная и производственная база для

получения высокочистых полупроводниковых материалов [11]. Мировой рынок заинтересован в материалах с исключительными физико-технологическими свойствами (high-tech materials), в том числе для электронных устройств авиационной и космической отраслей. Такая «нишевая» специализация экономики, по примеру стран Северной Европы с небольшим внутренним рынком, позволит экспортировать товар относительной технологической простоты, но имеющий физические характеристики, которые не достигнуты у широко используемых стандартных материалах. Например, монокристаллический кремний, обеспечивающий высокую термическую и радиационную стойкость полупроводниковых приборов, в технологии которого использованы фундаментальные научные знания (defectengineering - взаимодействие точечных дефектов монокристалла с примесями при радиационном и термическом воздействии).

Для Украины маловероятна успешная конкуренция с «Intel», «Samsung», «TSMC» на рынке технологий массового производства потребительской электроники. Но возможно занятие «ниш» на мировом рынке силовой электроники. Применение энергетической силовой электроники будет расширяться, вследствие развития альтернативной энергетики (ВИЕ), интеллектуальных энергетических сетей (Smart Grid), автомобильного электропривода и общего повышения требований к энергоэффективности, в том числе, для развивающихся стран, где дефицит энергоресурсов является одним из факторов, сдерживающих развитие промышленности и городских агломераций.

Необходимость обеспечения радиационной стойкости монокристаллического кремния для изготовления многослойных структур силовых приборов электропривода общепромышленного оборудования и транспортного электропривода в наземных условиях определяется ограничением возможности увеличения максимальной переключаемой мощности (рабочего напряжения и тока) силовых полупроводниковых приборов (СПП). В частности, анализ многослойных высоковольтных СПП, эксплуатируемых на высотах, существенно превышающих уровень моря [12], показал рост количества непредсказуемых отказов, вследствие действия вторичных космических лучей, образовавшихся в атмосфере.

В работах [13,14] приведены каскадная схема образования и энергетические характеристики атмосферных элементарных высокоэнергетических частиц (particleshower), бомбардировка которыми СПП вызывает их отказ. Используя эти данные, а также результаты работ [15,16], нами в «MathCAD» было выполнено интегрирование уравнения дифференциального потока нейтронов для наземных условий (в зависимости от широты, долготы и высоты над уровнем моря). Полученное нами численное значение потока атмосферных нейтронов в различных точках мира, $\Phi \approx 6,075 \cdot 10^{-3} \text{ см}^{-2} \cdot \text{с}$, можно использовать как справочное значение для оценки радиационной обстановки.

Следовательно, при работе в горах на высоте ≈ 3000 м, до которой выполняется хозяйственно-производственная деятельность с применением электропривода на СПП, за расчетное время эксплуатации (при полной нагрузке ~ 60000 ч) элементная база электропривода подвергается экспозиционной дозе облучения $\geq 1,18 \cdot 10^7$ нейтронов $\cdot \text{см}^{-2}$. Для ветрогенераторов, установленных на уровне моря, при работе 24 ч в течение 20 лет экспозиционная доза облучения составит $\geq 3,8 \cdot 10^6$ нейтронов $\cdot \text{см}^{-2}$. Таким образом, основными сегментами мирового рынка, перспективными с точки зрения применения СПП, устойчивых к действию атмосферных высокоэнергетических частиц, могут являться:

- промышленный электропривод горной промышленности;
- энергетический электропривод, в том числе, для возобновляемых
- источников энергии;
- транспортный электропривод.

Горнодобывающая отрасль составляет основу промышленности многих стран Азии и Южной Америки. Например, продукция горной промышленности Чили составляет ≥ 45 % экспорта [17]. Это крупнейший в мире производитель меди (≈ 5 млн. т меди в год, или 35 % мирового производства этого металла), с активным инвестированием в эту отрасль экономики. В Кыргызстане - это ≥ 48 % от стоимости всей промышленной продукции, а доля отрасли в общем объеме экспорта ≈ 41 % [18]. Территория страны

характеризуется высокой насыщенностью минеральными ресурсами, на государственном балансе числится около 200 полностью разведанных месторождений по 37 видам минерального сырья. Стимулирование развития отрасли (освоение полиметаллического месторождений, в том числе, золота) осуществляется с привлечением китайского капитала. Отдаленные высокогорные районы Кыргызстана занимают около половины его территории, и имеется желание ввести эти месторождения в промышленно-хозяйственный оборот. Преобладающая часть территории Таджикистана располагается выше 3000 м, имеет исключительно сложное геологическое строение и многочисленные месторождения свинцово-цинковых и медных руд, флюорита, барита, мышьяка, висмута, золота, серебра, вольфрама, молибдена, алюминиевого сырья, железа и ряда других руд [19]. Аналогичная ситуация наблюдается в Афганистане и Перу, где горнодобывающая промышленность является основой экономики [20,21]. Развитие мировой высокогорной горнодобывающей промышленности и низкая надежность СПП в применяемом промышленном оборудовании этой отрасли создают уникальную возможность для электротехнической и полупроводниковой промышленности перейти на выпуск приборов и приводов с использованием устойчивого к действию космических частиц материала, что ранее было характерно только для военной и аэрокосмической техники.

Высокие темпы роста альтернативной энергетики связаны с истощением природных запасов нефти, газа, урана (и их удорожанием), необходимостью энергетической безопасности и проблемой изменения климата. Ключевая роль принадлежит солнечной и ветроэнергетике. Большие проекты реализуются в КНР, Швеции, Ирландии, Новой Зеландии, Швейцарии, Канаде, Германии, США, Испании и Дании [22].

Более половины всех мировых ветроэнергетических мощностей в настоящее время сосредоточено в Европе. При масштабных энергосберегающих мероприятиях ветроэнергетика обеспечивает 29,1 % мирового

производства электроэнергии к 2030 г. и 34,2 % - к 2050 г. Мировой объем инвестиций в ветроэнергетику в 2012 г. оценивался \approx 49 млрд. долларов США. Мощности ветровых турбин для шельфовых установок сейчас достигают 3,5 МВт (а перспективе до 9 МВт). На шельфе ветровые ресурсы отличаются лучшим качеством, а также упрощаются сборка, буксировка и транспортировка более мощных машин на судовых поверхностях. Поэтому европейские и американские разработчики ищут участки для шельфовых установок, и ветрофермы обычно строятся именно на шельфе. Успех опытно-промышленной эксплуатации ветряного парка «AlphaVentus», первого морского ветроэнергетического предприятия Германии, позволяет говорить о практически неограниченном рынке СПП для электропривода турбин такого оборудования [23]. Однако требование повышения единичной мощности ветроэнергетической установки (ВЭУ) возможно только при увеличении рабочих напряжений преобразователей, что приводит к потере надежности и возрастанию токов утечки при длительной эксплуатации СПП из-за роста интенсивности их отказов, вследствие действия космических частиц (частота отказов IGBT на порядок выше, чем рассчитанная теоретически [24]). Учитывая, что доступ к шельфовым ВЭУ затруднен по географическим причинам, низкая радиационная стойкость СПП принципиально недопустима.

Аналогичная проблема отказов мощных преобразователей переменного тока возникла для тягового привода железнодорожного транспорта в связи с использованием ГТО тиристоров. Наряду с удешевлением и упрощением схем, снижением массы, объема и значительным снижением потерь в преобразователях при внедрении технологии ГТО разработчики электрооборудования столкнулись с внезапными непредсказуемыми отказами полупроводниковых элементов (тиристоры и силовые диоды). Установлено, что причиной отказов этих элементов является космическое излучение [25].

Таким образом, развитие возобновляемой энергетики, обеспечение надежности промышленного электропривода горной

промышленности и гражданского транспортного электропривода являются актуальной физико-технологической задачей. Для ее решения требуется развитие отрасли металлургии полупроводникового кремния и/или других материалов, устойчивых к действию радиации.

В Украине разработана промышленная технология выращивания монокристаллического кремния, легированного германием Si<Ge> [26], что позволяет говорить о существовании возможности его экспорта для производства, в частности, дискретных силовых приборов. Мировой рынок СПП на основе кремния стабильно растет - с 13 млрд. в 2014 г. до \approx 30 млрд. долларов США в 2025 г. [27], доля кремниевых приборов прогнозируется равной \approx 87 %. Это определяется ценовым преимуществом кремния, а остальную часть рынка займут приборы на основе SiC и GaN. Si<Ge> – один из наиболее перспективных материалов для производства изделий электронной техники с новыми функциональными свойствами, в том числе, для устройств радиочастотного диапазона, в период до 2040 г. [28].

Заключение. Ключевым фактором доминирующего в мировом хозяйстве пятого технологического уклада (VTU) является наличие производств полупроводниковых материалов, электронных компонентов (дискретные приборы и интегральные микросхемы), электронно-вычислительной техники, радио- и телекоммуникационного, лазерного оборудования. Деграция научно-производственной составляющей экономики вследствие разрушения ядра современного технологического уклада означает отсутствие технологической основы устойчивого экономического роста, закрепление отсталости промышленной структуры и примитивную специализацию экономики в мировой экономической системе. Тенденция к сокращению производства промышленной (тем более, наукоемкой) продукции неизбежно ориентирует экономику на типичный для колониально зависимых стран неэквивалентный внешнеэкономический обмен и нарастающее технологическое отставание (переход к сырьевой специализации, деграция

производства промышленных товаров конечного спроса, ориентирование на внутренний рынок).

На мировых рынках Si<Ge> является заметным конкурентом дорогостоящих сложных полупроводников (GaAs, GaN, SiC). Развивающийся в США и Японии рынок материалов и приборов, использующих Si<Ge>, в обозримом будущем составит ~ 10 млрд. долларов США, а в Европе и других странах мира объем продаж будет существенно отставать [27].

Возможность управления шириной запрещенной зоны, высокая подвижность но-

сителей, использование в технологиях СПИ интегральных микросхем позволяет рассматривать этот материал как дорогостоящий «нишевый» товар для украинского экспорта, конкурирующий с товаром зарубежных фирм. Диверсификация поставок украинской промышленной продукции на мировой рынок, в том числе в форме поставок сложных полупроводниковых материалов со специальными свойствами, необходима и неизбежна в условиях возможного снижения объемов продукции черной металлургии на традиционных рынках.

Библиографический список

1. Дедеяєва, Л. М. Особливості формування структури експорту України [Текст] / Л. М. Дедеяєва // Зовнішня торгівля: економіка, фінанси, право. – 2014. – № 1(72). – С. 21-27.
2. Шталь, Т. В. Аналіз основних тенденцій розвитку зовнішньої торгівлі України в умовах глобалізації [Текст] / Т. В. Шталь, Ю. Б. Доброскок, Д. С. Антоненко // Кримський економічний вісник. – 2014. – № 6(13).
3. Мекшун, П. В. Технологічна безпека - пріоритет гарантування економічної безпеки держави. Глобальні та національні проблеми економіки [Електронний ресурс] / П. В. Мекшун // Електронне видання Миколаївського національного університету імені В.О. Сухомлинського. – 2015. – Випуск 4. – С. 213-216.
4. Шлемко, В. Т. Економічна безпека України: сутність і напрямки забезпечення / В. Т. Шлемко, І. Ф. Бінко : Монографія. — Київ : НІСД, 1997. – 144 с. – (Сер. «Національна. Безпека»; Вип. 2). [Електронний ресурс] Режим доступу /<http://old.niss.gov.ua/book/rozdil/binko.htm>
5. Химченко, А. Н. Проблемы промышленного производства Украины и его влияние на экономическую безопасность государства [Текст] / А. Н. Химченко, О. Ю. Соляник // Економічний аналіз : збірник наукових праць : Тернопільський національний економічний університет. – Тернопіль: ВПЦ Тернопільського національного економічного університету «Економічна думка», 2014. – Том 15. – № 1. – С. 171-178.
6. Быткин, С. В. Конкурентная разведка конъюнктурно-технологических перспектив традиционного и high-tech экспорта Украины [Текст] / С. В. Быткин. – Запорожье : Изд-во ЗГИА. 2017. – 280 с.
7. Петрова, І. Л. Модернізація освіти як фактор інноваційної праці [Текст] / І. Л. Петрова // Науковий часопис Національного педагогічного університету ім. М.П. Драгоманова. Серія 18. – Вип. 24. – 2014. – 264 с.
8. Современные процессы модернизации экономики зарубежных стран [Текст] / Отв. ред. В. Б. Кондратьев. – М. : ИМЭМО РАН, 2012. – 364 с.
9. Белоус, А. Электроника Беларуси: стратегии и перспективы развития. Сайт «Время электроники» [Электронный ресурс] Режим доступа /<http://www.russianelectronics.ru/leader-r/review/521/doc/1626/>.
10. Гасанов, Г. В Туркменистане создадут электронную промышленность. Сайт trend 29.05.2015. [Электронный ресурс] Режим доступа /<http://www.trend.az/business/economy/2400179.html>.
11. Передерий, С. Л. Перспективы развития электронной промышленности в Украине / С. Л. Передерий // Економіка промисловості. – 2012. – № 1-2. – С. 184-193.
12. Munaf Rahimo. Power Semiconductors for Power Electronics Applications ABB Switzerland Ltd, Semiconductors. CAS-PSI Special course Power Converters, Baden Switzerland, 8th May 2014, slides 43, 46.
13. Haungs, A. Energy spectrum and mass composition of high-energy cosmic rays. [Электронный ресурс] / A. Haungs, H. Rebel. // Roth Reports on Progress in Physics, 66(7):1145, 2003.<http://dx.doi.org/10.1088/0034-4885/66/7/202>
14. Ziegler, J. F. Terrestrial cosmic rays [Text] / J. F. Ziegler. // J. Res. Develop. Vol. 40, No. 1 January 1998. – P. 19-39.
15. Владимиров В. М. Планетарное распределение вторичных нейтронов / В. М. Владимиров, Л. В. Границкий, Н. Н. Гурова и др.. Сайт «Современные проблемы» [Электронный ресурс] Режим доступа/<http://modernproblems.org.ru/ecology/14-hlebopros3.html>.
16. Пивоваров, Ю. П. Радиационная экология. [Электронный ресурс] Режим доступа /<http://kursak.net/pivovarov-yu-p-radiacionnaya-ekologiya/2/>
17. Горная промышленность Чили. Сайт «Горнопромышленный портал России» [Электронный ресурс] / Режим доступа / <http://www.miningexpo.ru/articles/65>.

18. **Горнодобывающая отрасль.** Сайт Kyrgyzstan Development Gateway. [Электронный ресурс] Режим доступа / <http://rus.gateway.kg/content/strategy/cds/262>.
19. **Иброхим, А.** Основные черты геологического строения и металлогении Таджикистана / А. Иброхим, М. М. Мамадзафаров, М. Д. Джанобилов. Сайт Главного управления геологии при Правительстве Республики Таджикистан. [Электронный ресурс] Режим доступа / <http://www.gst.tj/ru/content/geologiya>.
20. **Верхотуров, Д.** Промышленное развитие Афганистана. [Электронный ресурс] Режим доступа / <http://www.russiandenver.50megs.com/afghanistan.html>.
21. **Верхозин, С. С.** Горнодобывающая промышленность Перу. Сайт «Золотодобыча». [Электронный ресурс] Режим доступа / <http://zolotodb.ru/articles/foreign/10634/>
22. **Сайт «В мире альтернативной энергетики»** [Электронный ресурс] Режим доступа / http://engineering.ua/altern_energy/149.
23. **Alpha Ventus Wind Park, Germany.** [Электронный ресурс] / Режим доступа:// <http://www.power-technology.com/projects/alpha-ventus/>
24. **Сиappa M.** Selected failure mechanisms of modern power modules [Text] / М. Сиappa // Microelectronics Reliability. – 2002. – Vol. 42. – P. 653-667.
25. **Feature and Application of Gate Turn-off Thyristors.** Mitsubishi High Power Semiconductors. [Электронный ресурс] / Режим доступа:// <http://www.mitsubishichips.com/Global/files/manuals/gtothyristors.pdf>
26. **Критская, Т. В.** Современные тенденции получения кремния для устройств электроники [Текст] / Т. В. Критская; монография. – Запорожье : РИО ЗГИА, 2013. - 353 с.
27. **Pell, R.** Power Week: Si-Based Power Discretets to Continue to Dominate Over Next Decade. Сайт EETimes 11/26/2014. [Электронный ресурс] Режим доступа / http://www.eetimes.com/document.asp?doc_id=1324777&
28. **Global Power Semiconductors Market : Key Research Findings 2015.** YanoResearchInstitute, February 2016, Tokyo, Japan.
29. **Crystal Growth Technology.** [Электронный ресурс] Режим доступа / <https://www.google.com.ua/url>.

Биткін Сергій Віталійович, кандидат технічних наук, начальник відділу, ПАТ «Металургійний комбінат «Запоріжсталь» (Україна, Запоріжжя). E-mail:

Критська Тетяна Володимирівна, доктор технічних наук, завідувач кафедри електронних систем, Запорізька державна інженерна академія (Україна, Запоріжжя). E-mail: krytskaja2017@gmail.com

ВІДНОВЛЕННЯ ТА РОЗВИТОК МЕТАЛУРГІЇ НАПІВПРОВІДНИКОВОГО КРЕМНІЮ ЯК МОЖЛИВИЙ ШЛЯХ ПОДОЛАННЯ ДЕІНДУСТРІАЛІЗАЦІЇ КРАЇНИ

Обґрунтована можливість пошуку «ніші» для поліпшення структури експорту України шляхом постачань на світовий ринок high - tech матеріалу - монокристалів кремнію, що вирощено з розплаву та легувано германієм (Si<Ge>), для напівпровідникової промисловості. Подано аналіз галузей промисловості, в яких можливо і доцільне застосування стійких до дії іонізуючих випромінювань *npr-*, *nprp-* структур дискретних приладів, виготовлених на Si<Ge>. Показана перевага використання спеціалізованої елементної бази для електроприводу промислового призначення, призначеного для тривалої експлуатації під дією наземного іонізуючого випромінювання.

Ключові слова: модернізація, економічні інтереси, металоспоживання, високотехнологічна і конкурентоздатна продукція, напівпровідниковий кремній, радіаційна стійкість

Bytkin Sergey, candidate of technical sciences, Chief of Department, PJSC «Metallurgical combine «Zaporozhstal'» (Ukraine, Zaporizhzhе).

Krytskaya Tatiana, doctor of technical sciences, Chief of Department of Electronic Systems, Zaporizhzhе State Engineering Academy (Ukraine, Zaporizhzhе). E-mail: krytskaja2017@gmail.com

RENEWAL AND DEVELOPMENT OF METALLURGY OF SEMICONDUCTOR SILICON AS POSSIBLE WAY OF OVERCOMING OF DEINDUSTRIALIZATION OF COUNTRY

The searchability of "niche" is reasonable for the improvement of structure of export of Ukraine by deliveries to the world market of high - tech material - of single-crystals of silicon, bulkgrown, alloyed by a germanium (Si<Ge>), for semiconductor industry. The analysis of industries of industry, in which possibly and application of steady to the action ionizing radiations of is expedient, is given *npr-*, *nprp-* -структур of discrete devices, made on Si<Ge>. Advantage of the use of the specialized element base is shown for the electromechanic of the industrial setting, intended for the protracted exploitation under the action of surface ionizing radiation.

Keywords: modernization, technical lag, economic interests, металопотребление, hi-tech and competitive products, semiconductor silicon, radiation firmness