

УДК/UDC 338.45

Развитие интеллектуального капитала российской полупроводниковой промышленности

Сиротин Дмитрий Владимирович

кандидат экономических наук, старший научный сотрудник Лаборатории моделирования пространственного развития территорий

Институт экономики УрО РАН

г. Екатеринбург, Россия

e-mail:sirotin.dv@uiec.ru

ORCID: 0000-0002-3794-3956

Scopus ID: 57194002454

ResearcherID: <http://www.researcherid.com/rid/K-2490-2018>

Аннотация

В работе приведены тенденции развития мировой и отечественной микроэлектроники. Отражена структура производств полупроводниковой электроники и динамика их развития в России. Проверена гипотеза о возможности рассмотрения в качестве индикатора развития интеллектуального капитала полупроводниковой индустрии показателей патентной активности организаций в сфере регистрации топологий интегральных электронных схем. Приведено распределение мирового производства микросхем по проектным нормам. Оценена динамика патентной активности отечественных организаций в целях регистрации топологий интегральных микросхем. Выявлена структура базы зарегистрированных в Российской Федерации в 2020 г. топологий интегральных микросхем по технологическому уровню, выделены основные сферы их применения и оценены возможности освоения на базе внутренних ресурсов страны без привлечения импорта. Отмечена системообразующая роль государства в развитии интеллектуального капитала полупроводниковой промышленности Российской Федерации. В условиях отсутствия в стране фабрик по производству микросхем по низким технологическим нормам проявляется низкая активность организаций в разработке интегральных микросхем для наиболее требовательных (по уровню производительности и размеру микросхем) сфер применения. Сделан вывод об умеренных темпах развития интеллектуального капитала российской полупроводниковой индустрии.

Ключевые слова: микроэлектроника, полупроводниковая электроника, патентный анализ, интеллектуальный капитал, высокотехнологичные производства, интегральные электронные схемы, локализация производств.

Development of the intellectual capital of Russian semiconductor industry

Sirotin Dmitriy Vladimirovich

Candidate of Economics, Senior Researcher of the Laboratory for Modeling Spatial Development of Territories

Institute of Economics of the Ural Branch of RAS

Ekaterinburg, Russia

e-mail:sirotin.dv@uiec.ru

ORCID: 0000-0002-3794-3956

Scopus ID: 57194002454

ResearcherID: <http://www.researcherid.com/rid/K-2490-2018>

Abstract

The paper presents the development trends of world and domestic microelectronics. The structure of semiconductor electronics industries and the dynamics of their development in Russia are reflected. The hypothesis about the possibility of considering the indicators of patent activity of organizations in the field of registration of topologies of integrated electronic circuits as an indicator of the development of the intellectual capital of the semiconductor industry is tested. The distribution of world production of microcircuits according to design standards is given. The dynamics of the patent activity of domestic organizations in order to register the topologies of integrated circuits is estimated. The structure of the base of the topologies of integrated circuits registered in the Russian Federation in 2020 by the technological level is revealed, the main spheres of their application are highlighted and the possibilities of development on the basis of the country's internal resources without attracting imports are assessed. The systemic role of the state in the development of the intellectual capital of the semiconductor industry of the Russian Federation is noted. In the absence of factories in the country for the production of microcircuits with low technological standards, there is a low activity of organizations in the development of integrated microcircuits for the most demanding (in terms of performance and size of microcircuits) applications. The conclusion is made about the moderate rates of development of the intellectual capital of the Russian semiconductor industry.

Key words: microelectronics, semiconductor electronics, patent analysis, intellectual capital, high-tech production, integrated electronic circuits, production localization.

Функциональность и современность электронной промышленности прежде всего определяют темпы развития микроэлектронной подотрасли, на которую приходится около 40% от общего объема инвестиций в мировую индустрию электроники. Микроэлектроника — это системообразующая отрасль развитых государств, определяющая динамику развития промышленности в целом [1–3]. Она является одной из самых рентабельных, капиталоемких и наукоемких производств. Микроэлектронная продукция отличается высокой долей добавленной стоимости, средняя рентабельность производств таких изделий составляет около 30%.

Мировыми лидерами в области микроэлектронного производства являются Тайвань, Республика Корея, Государство Япония, Соединенные Штаты Америки, Китайская Народная Республика (материковая часть) и Федеративная Республика Германия (табл. 1). Общемировые объемы производства полупроводников¹ в 2019 г. находились на уровне 18,9 тыс. ед. пластин в месяц (эквивалентных 200 мм).

Мировое микроэлектронное производство по регионам в 2019 г. [4].

Регион	Производство, из расчета на тысячу эквивалентных двухсотмиллиметровых пластин в месяц, тыс. ед./м	Доля, %
Тайвань	4,126	21,8
Республика Корея	4,033	21,3
Государство Япония	3,168	16,8
США	2,426	12,8
КНР (материковая часть)	2,361	12,5
Европа	1,138	6,0
Остальной мир	1,646	8,7

Таблица 1

¹Микроэлектронная индустрия включает полупроводниковое производство, изделия на базе микроэлектромеханических систем (МЭМС) и продукты функциональной электроники. Полупроводниковые изделия составляют основу микроэлектронной промышленности.

Доля России в мировом распределении микроэлектронных производств в 2019 г. оценивалась на уровне 0,8%. На российском рынке микроэлектроники 82% продукции составляет импорт, 15% и 3% — отечественная микроэлектроника военного и гражданского назначения соответственно. Имеющаяся на сегодняшний день база данных Федеральной службы государственной статистики (Росстат) не позволяет четко классифицировать микроэлектронные и, в частности, полупроводниковые производства в рамках товарных групп (ОКПД2) и видов экономической деятельности (ОКВЭД2). Тем не менее возможно выделение отдельных видов продукции в рамках полупроводниковых производств (табл. 2).

Производство в России основных видов полупроводниковой продукции в натуральном выражении, тыс. шт. [5]

Вид полупроводниковой продукции	Год			
	2017	2018	2019	2020
Схемы интегральные электронные	971 322,5	1 034 776,2	903 506,6	495 088,4
Приборы полупроводниковые и их части	64 457,4	48 139,6	29 389,2	25 504,1
Диоды	6 362,5	13 513,8	11 786,9	10 878,2
Светодиоды, светодиодные модули и их части	5 137,1	6 272,8	7 413,2	9 660,8
Транзисторы	398,7	4 254,2	3 434,3	2 798,8

Таблица 2

В территориальном разрезе основные мощности полупроводниковой промышленности Российской Федерации сосредоточены в городах Москве и Зеленограде. Здесь расположены крупнейшие фабрики по выпуску интегральных микросхем (более 99% от общего объема производства в Российской Федерации), транзисторов (74%), полупроводниковых приборов и их частей (62,3%). В Северо-Западном федеральном округе расположены крупносерийные производства светодиодов (76,2%), также здесь производится около 26% отечественных транзисторов. В Северо-Кавказском федеральном округе налажен выпуск полупроводниковых приборов и их частей небольшими партиями (7,5% от общего объема

производства в Российской Федерации), чуть меньший объем продукции данного вида выпускается на территории Сибирского федерального округа (7%). Предприятия Приволжского федерального округа обеспечивают 85% отечественных производств диодов, 22% полупроводниковых приборов и их частей и более 17% светодиодов, светодиодных модулей и их частей.

Структура потребления полупроводников учитывает сферы: коммуникационное оборудование (33%), компьютерная (28,4%) и бытовая техника (13,3%), автомобилестроение (12,2%), прочие отрасли промышленности (11,8%) и ОПК (1,3%) [6]. Ключевым продуктом полупроводниковой электроники и микроэлектронной индустрии в целом являются интегральные электронные схемы (далее по тексту — ИЭС). В 2019 г. на мировом рынке полупроводников доля ИЭС составила 81%, оптоэлектроники и сенсоров — 13%, дискретных полупроводников — 6% [7].

Важной качественной характеристикой разработки и выпуска ИЭС является норма технологического процесса их изготовления. Освоение наиболее точных проектных норм (ПН) требуется в сфере создания коммуникационной и компьютерной техники (вычислительной техники), на которые в сумме приходится 61,4% полупроводников. ПН здесь находятся в пределах 5–28 нм. Доля продукции, изготовленной по нормам более 65 нм, в мире сегодня составляет около 38% и по прогнозу IC Insights к 2023 г. сократится не более чем на 3% [8]. Распределение производства интегральных микросхем по нормам технологического процесса в мире различно (табл. 3).

Распределение мирового производства микросхем по проектным нормам [4]

Проектная норма, мкм	Доля используемой проектной нормы в структуре производства микросхем в странах, %							
	Тайвань	Респ. Корея	Гос-во Япония	США	КНР (материковая часть)	Европа	Остальной мир	Всего
0,2 и выше	11	4	23	26	22	49	24	18
0,19 - 0,065	23	10	19	20	28	23	21	20
0,064 - 0,028	27	6	4	17	13	14	16	14
0,027 - 0,020	14	23	2	6	14	6	15	13
0,019 и менее	25	56	51	31	23	7	24	35

Таблица 3

Доля используемой проектной нормы в структуре производства микросхем в странах, %

Как видно из данных табл. 3, фабрики по производству микросхем по наиболее низким проектным нормам сосредоточены в Республике Корея и Государстве Япония. Тем не менее самой крупной и наиболее инновационно-активной в рамках разработки и освоения новых ПН является тайваньская компания Taiwan Semiconductor Manufacturing Co (TSMC), за последние годы одной из первых осваивающая все более низкие технологические нормы (7 нм, 5 нм и др.) [9]. Помимо TSMC, к числу крупнейших в мире контрактных производителей микросхем относятся Samsung Electronics (Республика Корея), GlobalFoundries (США), United Microelectronics Corp (UMC, Тайвань) и Semiconductor Manufacturing International Co (SMIC, КНР), причем доля TSMC превосходит суммарный вес остальных лидеров.

На сегодняшний день в России существует около 10 производителей кремниевых микросхем с технологическими нормами 3–6 мкм, использующих пластины диаметром 100 мм. Пластины с диаметром 150 мм используют АО «Микрон» (ПН до 800 нм, г. Зеленоград), АО «Ангстрем» (ПН до 600 нм, г. Зеленоград), АО «ВЗПП-Микрон» (ПН до 2

мкм, г. Воронеж), Мини-фабрика ФГУ ФНЦ НИИСИ РАН (КМОП² по ПН 500, 350 и 250 нм, г. Москва). Производство интегральных микросхем на базе пластин диаметром 200 мм осуществляет АО Микрон (ФАБ-200) по нормам 180 и 90 нм, в разработке техпроцесс по норме 65 нм. На базе бывшего «Ангстрем-Т», а ныне ООО «НМ-ТЕХ», возможно создание производства микросхем по нормам 180 и 130 нм. Освоение технологий уровня 28 нм возможно только на пластинах 300 мм, для производства которых на сегодняшний день в России нет фабрик соответствующего технико-технологического уровня обеспечения [10].

Норма освоенного технологического процесса является одним из основных показателей развития в стране полупроводниковой индустрии. Но для того чтобы создать финансовую заинтересованность в строительстве современных высокотехнологичных фабрик, прежде всего необходимы технологии, использующие данные мощности для получения конечного продукта, востребованного на рынке. Такие технологии составляют основу интеллектуального капитала микроэлектронной отрасли.

Обзор работ в области развития микроэлектронных технологий, обобщение результатов анализа развития микроэлектронной промышленности в мире в целом и в России в частности явились основой формирования гипотезы исследования о возможности рассмотрения в качестве индикатора развития интеллектуального капитала полупроводниковой индустрии показателей патентной активности организаций отрасли в сфере регистрации в стране топологий ИЭС. Для проверки гипотезы и уточнения особенностей развития интеллектуального капитала российской полупроводниковой промышленности проведен патентный анализ. Порядок выполнения анализа в целом соответствует основным методическим положениям проведения наукометрических исследований в сфере анализа публикационной и патентной активности, большой вклад в развитие которых внесли Ю. Гарфилд, И. Маршакова, М. Мэйер, О. Перссон. В ходе работы была оценена динамика получения свидетельств о

²КМОП — комплементарная логика на транзисторах металл-оксид-полупроводник.

государственной регистрации топологий ИЭС в стране (рис. 1), исследованы технологические и структурные особенности патентной базы [11].

*Динамика патентной активности в целях регистрации топологий интегральных электронных схем Федеральным институтом промышленной собственности (ФИПС), ед. (с учетом зарубежных заявителей)**



Рисунок 1

Как видно из данных рис. 1, до 2019 г. наблюдалась положительная динамика подачи заявок и регистрации в ФИПС топологий интегральных микросхем. В 2020 г. активность заявителей немного снизилась — было подано 275 заявок (277 в 2019 г.), 261 из которых была зарегистрирована (263 в 2019 г.). Из числа зарегистрированных топологий 14 принадлежат зарубежным заявителям, а именно холдингу «ИНТЕГРАЛ» (Белоруссия). Разработанные холдингом новые ИЭС базируются на нормах 0,5–3 мкм.

В рамках пространственного развития интеллектуального капитала создания ИЭС более 88% топологий (231 ед.) в 2020 г. разработано в Центральном федеральном округе. Прежде всего это Москва и Зеленоград. Также в этом году топологии были зарегистрированы предприятиями, расположенными в Северо-Западном (4 ед.), Приволжском (3 ед.) и Сибирском (8 ед.) федеральных округах, а также в Севастополе (1 ед.).

Большой вклад в развитие интеллектуального капитала российской микроэлектроники вносит государство, от имени которого высту-

пает Министерство промышленности и торговли Российской Федерации, ГК «Росатом», а также войсковые части, в качестве самостоятельных или совместных правообладателей для подавляющего числа зарегистрированных топологий (59,9% от общего числа отечественных правообладателей). Это характерно не только для технологий, соответствующих целям сохранения национальной безопасности государства, или отвечающих интересам, связанным с развитием цифровой инфраструктуры в стране. Назначение разрабатываемых для государственных нужд микросхем включает выпуск систем обработки и преобразования сигналов, радиолокации, навигации и связи; DC/DC преобразователей и многофазных инверторов; аппаратуры космического назначения, ГЛОНАСС, систем управления атомными объектами и производством; радиационно-стойкой аппаратуры и др.

В 2019–2020 гг. свидетельства на регистрацию топологий ИЭС были выданы 49 негосударственным предприятиям различных организационно-правовых форм. В числе российских разработчиков интегральных микросхем большей активностью в 2020 г. отличились ФГУ «ФНЦ НИИСИ РАН», АО «ППК «Миландр», ООО «Центр инновационных разработок ВАО», АО «НПФ «Микран», ЗАО «Группа Кремний Эл» и ООО «Артек Электроникс», в совокупности получившие более половины свидетельств, зарегистрированных отечественными организациями без отчуждения прав в пользу государства или совместного с ним владения.

В целом зарегистрированные в ФИПС топологии предполагают производство микросхем по технологическим нормам в пределах от 5 мкм до 28 нм (рис. 2) [11].

Из 170 свидетельств, имеющих указание технологической нормы изготовления микросхем, 83 зарегистрированные топологии ориентированы на ПН 180 нм (рис. 2). Сферы применения разработанных в 2020 г. ИЭС, соответствующих такой норме, включают:

- 1) смарт-карты и защищенные устройства;
- 2) электронные проездные документы с криптографической защитой;

Структура базы зарегистрированных в ФИПС топологий интегральных электронных схем по технологическому уровню, мкм

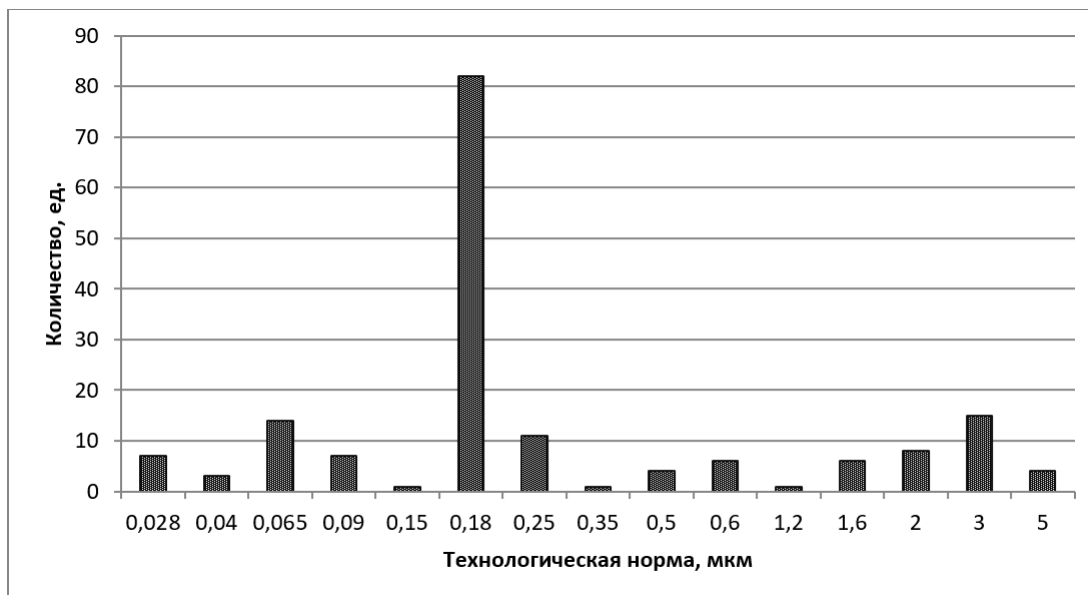


Рисунок 2

- 3) системы цифрового преобразования кода, приема и передачи информации;
- 4) постоянные запоминающие устройства (ПЗУ) для энергонезависимой памяти;
- 5) центральный процессор карт памяти microSD;
- 6) управляющие системы, датчики (давления, света, температуры и др.), системы связи;
- 7) цифро-аналоговые и аналого-цифровые преобразователи;
- 8) информационно-измерительную технику и автоматику (в качестве операционных, формирующих и регулирующих устройств) и др.

Технологии, соответствующие нормам до 0,1 мкм (28, 40, 66, 90 нм), составляют 18% от общей патентной базы. Области применения зарегистрированных технологий учитывают:

- 1) процессоры для осуществления многостандартной навигации при параллельном функционировании операционной системы

- (для поддержки решений специальных вычислительных задач) (28 нм);
- 2) космические аппараты, беспилотные летательные аппараты (обеспечение системного интерфейса навигации для идентификации и контроля), иную авиационно-ракетную технику (40 нм);
 - 3) твердотельные накопители информации (40 нм);
 - 4) унифицированные интегрированные бортовые информационные системы для модернизируемых и перспективных космических аппаратов (65 нм);
 - 5) радиационно-стойкие аналого-цифровые преобразователи (65 нм);
 - 6) систему сопряжения микропроцессоров на базе «Эльбрус» с периферийными устройствами (65 нм);
 - 7) процессоры цифровой обработки сигналов для радиолокации, обработки видео- и аудиоданных (90 нм);
 - 8) системы криптографической защиты, идентификации и контроля (90);
 - 9) блоки памяти ОЗУ (оперативного запоминающего устройства) и ПЗУ для СБИС (сверхбольшой интегральной схемы) и СнК (системы на кристалле) (90 нм) и др.

Некоторые из разработанных микросхем АО «ПКК Миландр» (на базе ПН 90 нм), АО «Крафтвэй корпорэйшн ПЛС» (по ПН 40 нм), АО «МЦСТ» (65 нм для «Эльбрус»), АО НПЦ «ЭЛВИС» (40 нм) и даже АО «Российские космические системы» совместно с Министерством промышленности и торговли Российской Федерации (65 нм) регистрировались для производства за рубежом на фабриках TSMC (что понятно из анализа реферата свидетельств). Так, для отечественной компьютерной техники на базе процессоров «Эльбрус» в 2020 г. были зарегистрированы топологии двух новых микросхем («КПИ 1991ВГ2Я» и «КПИ 1991ВГ1Я») для их дальнейшего контрактного производства на Тайване.

В целом можно сказать, что отечественные разработчики микросхем сегодня ориентируются на внутренние рынки. Сферы их применения включают вычислительную технику, в т. ч. специализированную, системы криптографической защиты, аппаратуру космического назначения, системы навигации и связи (в т. ч. беспроводной), управляющие системы (в т. ч. атомными объектами), ГЛОНАСС, системы хранения информации, мемристивные устройства, СВЧ-технику, дисплеи, метки и др. Данные направления являются востребованными на внутреннем рынке. Возможность локализации производств выделенных технологий оценена на базе сопоставления рефератов свидетельств с данными Единого реестра российской радиоэлектронной продукции (в соответствии с постановлением Правительства Российской Федерации от 10 июля 2019 г. № 878) [12]. Полученные результаты подтверждают вхождение микросхем, однотипных зарегистрированным в 2020 г., в данный реестр, но отражают низкий уровень локализации их производств на территории Российской Федерации.

В России сегодня большую часть рынка микроэлектроники составляет импортная продукция. Тем не менее в результате вступления в силу правительственных указов по субсидированию производителей микроэлектроники и импортозамещению компьютерной, телекоммуникационной техники, систем связи в государственном секторе (бюджетных учреждений и организаций) для микроэлектронной индустрии складываются благоприятные условия развития, в т. ч. создается спрос на микроэлектронные изделия.

Действующими программами развития микроэлектроники учтено выделение 320 млрд руб. на создание интеллектуальных систем учета электроэнергии, 37 млрд руб. на освоение производства современных систем хранения данных и 36 млрд руб. на развитие производств радиочастотных меток для маркировки физических объектов.

Во второй половине 2021 г. Министерством промышленности и торговли Российской Федерации было сделано несколько важных шагов в целях локализации полупроводниковых производств. Во-первых,

было принято решение о выделении 1,2 млрд руб. на организацию выращивания в России кристаллов, используемых при изготовлении радиоэлектронной аппаратуры [13]. На сегодняшний день подобных производств в стране нет, а необходимые монокристаллы GaAs и Ge импортируются в Россию из США и стран Европы. Создание комплекса по выращиванию таких кристаллов особенно важно для развития производств СВЧ-техники, оптоэлектроники, лазерного оборудования [14]. Во-вторых, был проведен тендер на разработку фотолитографического оборудования для печати чипов на кремниевых пластинах (подложке) [15] с топологией 130 нм (ПН 130-65 нм), который выиграл АО «Зеленоградский нанотехнологический центр». Технологические нормы 130-65 нм наиболее востребованы сегодня для современных микроконтроллеров и большинства периферийных микросхем. Сферы их использования включают интернет вещей, электронное оснащение автомобилей, кассовое оборудование и др. Работы по разработке, стоимостью 5,7 млрд руб., должны быть выполнены до декабря 2026 г. [16]. Можно полагать, что на возведение установки и подготовку ее к запуску потребуется также немало времени.

Несмотря на прилагаемые усилия, сохраняющееся многолетнее отставание российской микроэлектроники от мировых лидеров вынуждает ориентироваться на реализацию промышленной политики, учитывающей применение подхода на базе привлечения контрактных производителей за рубежом для изготовления наиболее технически сложных микроэлектронных изделий, получаемых по низким технологическим нормам. Реализуемые сегодня решения по строительству в стране современных фабрик имеют единичный характер, что не позволяет надеяться на скорое изменение ситуации. В сложившихся условиях необходимы изменения, связанные с развитием институциональной среды, прежде всего за счет усиления взаимодействий бизнеса и власти [8; 17]. Тем не менее можно полагать, что бизнес-модели, учитывающие промышленное освоение российских разработок микроэлектронных компонентов за рубежом на

контрактной основе, с их последующим импортированием в Россию и корпусированием, до 2030 г. будут рассматриваться в качестве базовых.

Результаты исследования подтверждают гипотезу о возможности рассмотрения в качестве индикатора развития интеллектуального капитала полупроводниковой индустрии показателей патентной активности организаций в сфере регистрации топологий интегральных микросхем. Динамика активности отечественных разработчиков в регистрации микросхем отражает замедление темпов развития в стране их интеллектуальных производств.

В процессе работы удалось выделить качественную структуру технологической базы топологий микросхем, выражаемую через проектные нормы технологического процесса их изготовления. Российские микросхемы, топологии которых были зарегистрированы в 2020 г., предназначены преимущественно для реализации на внутреннем рынке, но в большинстве своем не могут быть произведены внутри страны в промышленных масштабах. Отечественные интеллектуальные производства ИЭС имеют достаточно широкий охват сфер применения, но отличаются единичным характером (малым числом технологий) по большинству важнейших направлений. Такая ситуация обусловлена отсутствием спроса в наиболее высокотехнологичных секторах и слаборазвитой производственной базой, на которую ориентируются разработчики.

Полученные результаты проделанной работы позволяют сделать вывод об умеренных темпах развития интеллектуального капитала российской полупроводниковой индустрии. Рассматривая подход к развитию микроэлектронной промышленности на базе Fabless-моделей в качестве основного, стимулирование интеллектуального капитала полупроводниковых производств будет играть основополагающую роль³.

³Статья подготовлена в соответствии с Планом НИР для Лаборатории моделирования пространственного развития территорий Института экономики Уральского отделения Российской академии наук на 2021 г.

Список литературы:

1. Aspelund A., Azari M. J., Aglen A. F., Graff S. G. The birth and development of a born global industry: The case of microelectronics in Norway. *Journal of International Entrepreneurship*. 2018. Vol. 16 (1). Pp. 82–108.
2. Mody C. C. M. Academic centers and/as industrial consortia in American microelectronics research. *Management Organizational History*. 2017. Vol. 12 (3). Pp. 285–303.
3. Schroth F., Haussermann J. J. Collaboration Strategies in Innovation Ecosystems: An Empirical Study of the German Microelectronics and Photonics Industries. *Technology Innovation Management Review*. 2018. Vol. 8 (11). Pp. 4–12.
4. Яковлев Р. Роль локального производства в новой геополитической реальности // Материалы международной выставки Semiexpo Russia 2020. URL: <https://semiexpo.ru/docs/digital-economy-2020.pdf> (дата обращения: 08.11.2021).
5. Производство основных видов продукции в натуральном выражении с 2017 г. (в соответствии с ОКПД2) // Федеральная служба государственной статистики. URL: <https://www.fedstat.ru/indicator/58636> (дата обращения: 04.11.2021).
6. Григорьева А., Дзюбаненко С. Российская и мировая полупроводниковая промышленность. Цифры и факты // Живая электроника России. 2021. URL: <https://russianelectronics.ru/poluprovodnikovaya-promyshlennost/> (дата обращения: 14.10.2021).
7. Bown C. How the United States marched the semiconductor industry into its trade war with China. Working Paper 20–16. December 2020. URL: <https://www.piie.com/sites/default/files/documents/wp20-16.pdf> (Дата обращения: 18.10.2021).
8. Сиротин Д. В. Состояние и возможности дальнейшего развития российской микроэлектронной отрасли // Экономическое возрождение России. 2021. Т. 69. № 3. С. 105–122.
9. Бондарь Д. Полупроводниковая микроэлектроника — 2020. Часть 1. Мировая пандемия COVID-19 — форс-мажор для мировой экономики, но не микроэлектроники // Электронные компоненты. 2020. № 12. С. 6–14.
10. Шелепин Н. А. Материалы интервью в рамках российского форума «Микроэлектроника 2021». URL: <https://microelectronica.pro/novosti/rossiyskaya-mikro-i-nanoelektronika-zastyila-v-ozhidanii-intervyu-s-n-a-shelepinyim/> (дата обращения: 14.10.2021)
11. Сайт Федерального института промышленной собственности. URL: <https://www1.fips.ru/registers-web/action?acName=clickRegisterregName=TIMS> (дата обращения: 02.11.2021).

12. Государственная информационная система промышленности (ГИСП). Минпромторг России. URL: <https://gisp.gov.ru/rep/marketplace//products/%257B%2522PP719%2522%253A%255Btrue%255D%257D> (дата обращения: 09.11.2021).

13. Минпромторг выделит 1,2 млрд рублей на изготовление полупроводников в России. URL: <https://industry-hunter.com/minpromtorg-vydelit-12-mlrd-rublej-na-izgotovlenie-poluprovodnikov-v-rossii> (дата обращения: 18.10.2021).

14. Сиротин Д. В. Обеспечение российской полупроводниковой электроники минерально-сырьевыми ресурсами // Актуальные проблемы экономики и управления: сборник статей Восьмой всероссийской научно-практической конференции с международным участием. Екатеринбург: УГГУ. 2020. С. 140–144.

15. Митин В. В., Кох А. А. Развитие рынка и технологии производства поликристаллического кремния // Известия вузов. Материалы электронной техники. 2017. № 2. С. 99–106.

16. Минпромторг вложит 5,7 млрд рублей в оборудование для радиоэлектроники // Industry Hunter: новостной портал. URL: <https://industry-hunter.com/minpromtorg-vlozit-57-mlrd-rublej-v-oborudovanie-dla-radioelektroniki> (дата обращения: 23.11.2021).

17. Романова О. А., Пономарева А. О. Теоретические, институциональные и этические основания реализации современной промышленной политики. Часть I // Экономика региона. 2019. № 1 (15). С. 13–28.

References:

1. Aspelund A., Azari M. J., Aglen A. F., Graff S. G. The birth and development of a born global industry: The case of microelectronics in Norway. *Journal of International Entrepreneurship*. 2018. Vol. 16 (1). Pp. 82–108.

2. Mody C. C. M. Academic centers and / as industrial consortia in American microelectronics research. *Management Organizational History*. 2017. Vol. 12 (3). Pp. 285–303.

3. Schroth F., Haussermann J. J. Collaboration Strategies in Innovation Ecosystems: An Empirical Study of the German Microelectronics and Photonics Industries. *Technology Innovation Management Review*. 2018. Vol. 8 (11). Pp. 4–12.

4. Yakovlev R. The role of local production in the new geopolitical reality // Materials of the international exhibition Semiexpo Russia 2020. URL: <https://semiexpo.ru/docs/digital-economy-2020.pdf> (access date: November 08, 2021).

5. Production of main types of products in physical terms since 2017 (in accordance with ОКПД2) // Federal State Statistics Service. URL: <https://www.fedstat.ru/indicator/58636> (access date: November 04, 2021).

6. Grigorieva A., Dzyubanenko S. Russian and world semiconductor industry. Figures and facts // Live electronics of Russia. 2021. URL: <https://russianelectronics.ru/poluprovodnikovaya-promyshlennost/> (access date: October 10, 2021).
7. Bown C. How the United States marched the semiconductor industry into its trade war with China. Working Paper 20-16. December 2020. URL: <https://www.piie.com/sites/default/files/documents/wp20-16.pdf> (access date: October 18, 2021).
8. Sirotin D. V. The state and possibilities of further development of the Russian microelectronic industry // Economic revival of Russia. 2021. Vol. 69. No. 3. Pp. 105–122.
9. Bondar D. Semiconductor microelectronics — 2020. Part 1. The global pandemic COVID-19 — force majeure for the world economy, but not for microelectronics // Electronic components. 2020. No. 12. Pp. 6–14.
10. Shelepin N. A. Interview materials within the framework of the Russian forum "Microelectronics 2021". URL: <https://microelectronica.pro/novosti/rossiyskaya-mikro-i-nanoelektronika-zastyila-v-ozhidanii-intervyu-s-n-a-shelepinyim/> (access date: October 14, 2021).
11. Site of the Federal Institute of Industrial Property. URL: <https://www1.fips.ru/registers-web/action?acName=clickRegisterregName=TIMS> (access date: November 11, 2021).
12. State information system of industry (GISP). Ministry of Industry and Trade of Russia. URL: <https://gisp.gov.ru/rep/marketplace//products/%257B%2522PP719%2522%253A%255Btrue%255D%257D> (access date: November 09, 2021).
13. The Ministry of Industry and Trade will allocate 1.2 billion rubles for the manufacture of semiconductors in Russia. URL: <https://industry-hunter.com/minpromtorg-vydelit-12-mlrd-rublej-na-izgotovlenie-poluprovodnikov-v-rossii> (access date: October 18, 2021).
14. Sirotin D. V. Provision of Russian semiconductor electronics with mineral resources // Actual problems of economics and management: a collection of articles of the Eighth All-Russian Scientific and Practical Conference with international participation. Yekaterinburg: USMU. 2020. Pp. 140–144.
15. Mitin V. V., Koh A. A. Market development and production technology for polycrystalline silicon // Izvestiya vuzov. Electronic engineering materials. 2017. No. 2. Pp. 99–106.
16. The Ministry of Industry and Trade will invest 5.7 billion rubles in equipment for radio electronics // Industry Hunter: news portal. URL: <https://industry-hunter.com/minpromtorg-vlozit-57-mlrd-rublej-v-oborudovanie-dla-radioelektroniki> (access date: November 23, 2021).

17. Romanova O. A., Ponomareva A. O. Theoretical, institutional and ethical foundations for the implementation of modern industrial policy. Part I // Economy of the region. 2019. No. 1 (15). Pp. 13–28.