

# Тотальная модернизация – непростой путь к возрождению микроэлектроники

Текст: Валентин Новиков  
Дмитрий Суханов

”

Из-за специфики российского рынка микроэлектроники сегодня от производителя требуется максимальная гибкость: возможность быстрой переналадки производства и способность быстро отработать технологические режимы, обеспечить производство широкой номенклатурой изделий с высокой надежностью, стойкостью к дестабилизирующим факторам и отказоустойчивостью. Для решения поставленных задач необходимы эффективные решения, которые позволят реализовать сложнейшие комплексные проекты и усовершенствовать микроэлектронные производства до мирового уровня, развить технические и технологические возможности, а также избежать целого ряда проблем, связанных с освоением и модернизацией мировых технологий.



1

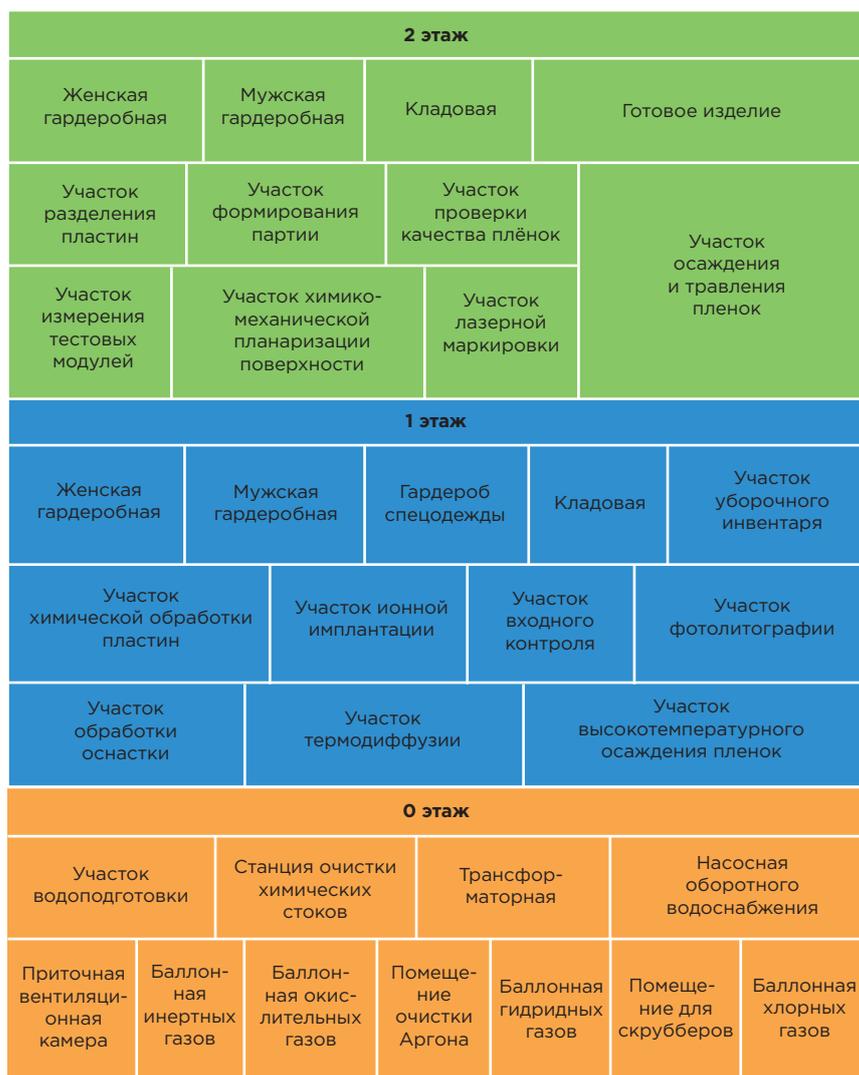
Структура производственного комплекса микроэлектроники

Техническое и технологическое переоснащение микроэлектронных производств является одним из главных условий сохранения конкурентоспособности и эффективности отечественных предприятий, а также ключевым фактором для технологического прогресса и экономического роста России.

Для реализации этой сложнейшей задачи на отечественных предприятиях необходим комплексный подход. В идеале наилучшим решением стало бы создание абсолютно новых производств (рис 1, 2), так сказать «с нуля»: то есть полностью избавиться от «наследия СССР» и не пытаться освоить современные технологии на оборудовании 30-летней давности.

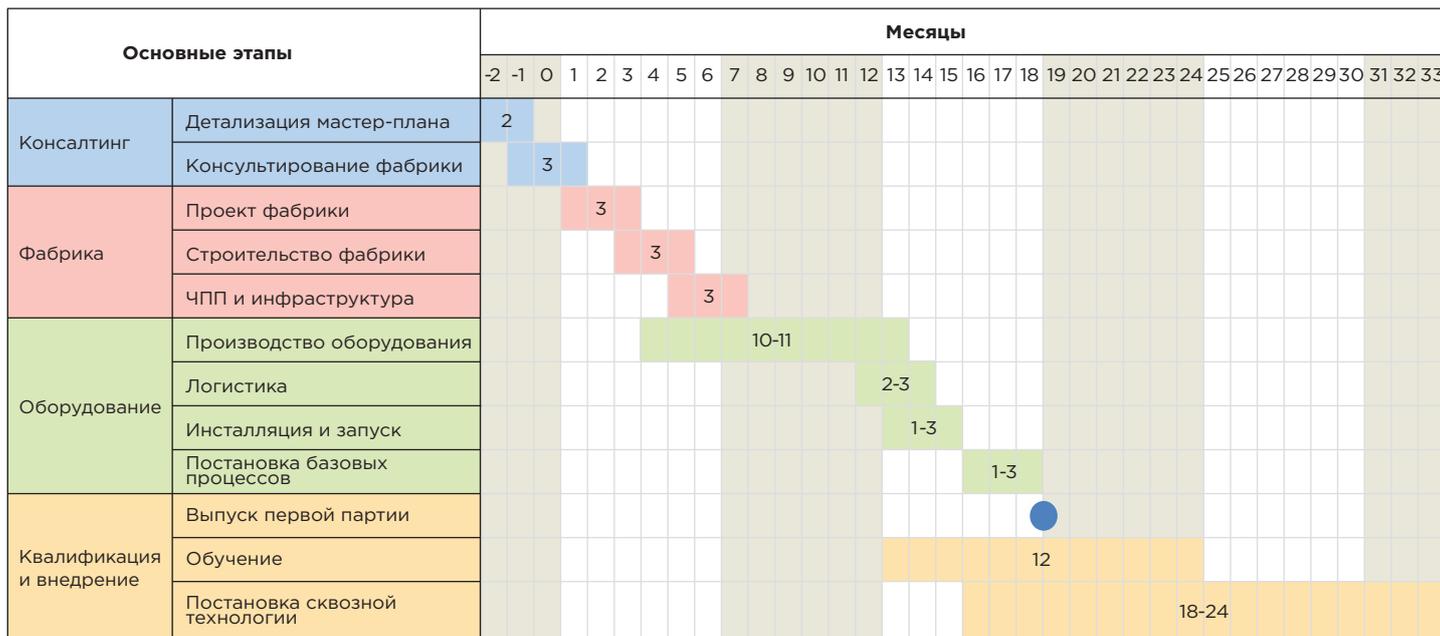
При решении задач переоснащения в последние 20 лет проводилась лишь частичная замена имеющегося оборудования, да и то на его аналоги, без возможности дальнейшего роста и освоения новых технологий, потому что все привыкли только модернизировать существующее, а до бесконечности это делать нельзя. Вопрос о замене «под ключ» поднимался крайне редко из-за отсутствия необходимых компетенций со стороны технологов и готовых комплексных решений со стороны инжиниринговых компаний.

Комплексный подход должен включать решения как для НИОКР, так и для серийного производства, позволяющие освоить принципиально новые изделия благодаря новейшему оборудованию и технологиче-



2

Структурный состав производственного комплекса микроэлектроники



3 Календарный план проекта

скому трансферу от мировых производителей электронных компонентов. Трансфер технологии – это сложнейший процесс, куда входят:

**Технологический процесс:**

- каждая операция имеет короткое и расширенное описания, с объяснением её назначения;
- каждая операция имеет привязанную к ней установку.

**Список оборудования, чертежи и инструкции:**

- рекомендованный список оборудования;
- чертежи и инструкции;
- приёмо-сдаточные работы / запуск базового процесса;
- список химических реагентов, материалов и газов;
- матрица потребления.

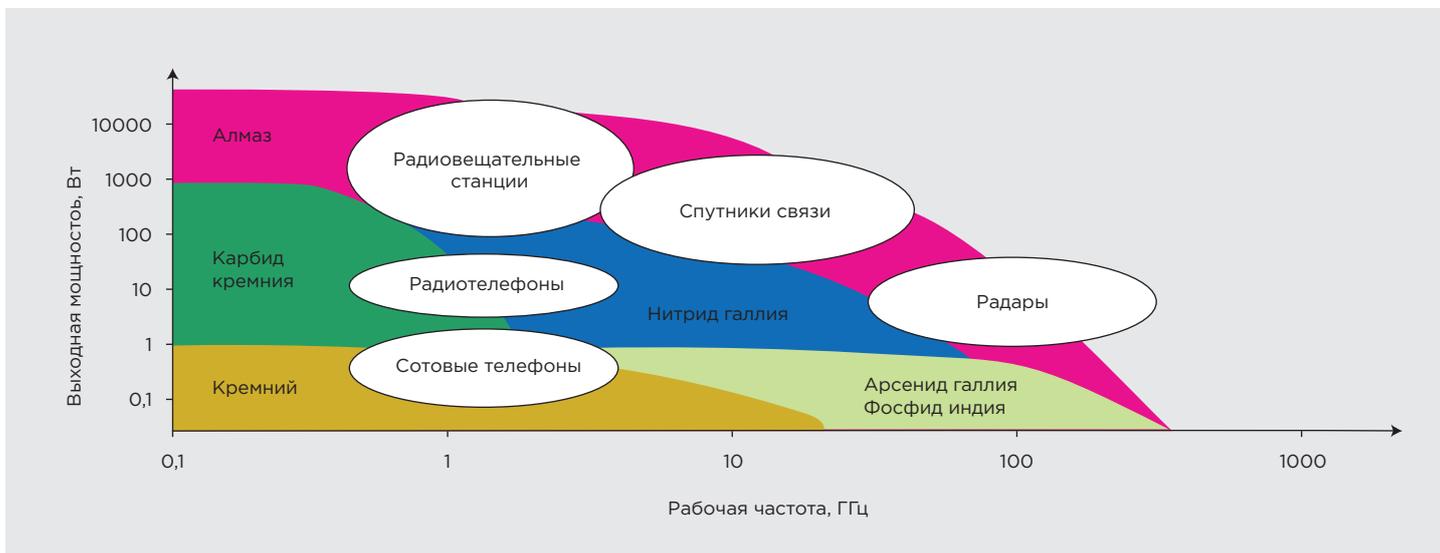
**Производственный технологический процесс:**

- способы и методы обработки, диапазон изменения параметров процессов, дозы и параметры легирования, параметры литографии, температуры в диффузионных печах и пр.

**Метрологические контрольные точки и структуры:**

- методы контроля;
- минимальные топологические нормы, допуски, толщины слоёв и плёнок;
- тестовые структуры и точки совмещения;
- целевые измеряемые параметры и технологические пределы;
- критические параметры процессов и производства.

Современные тенденции требуют от инженирин-



4 Зависимость максимальной мощности от частоты для приборов на основе различных полупроводниковых материалов. Источник: www.ntt-review.jp

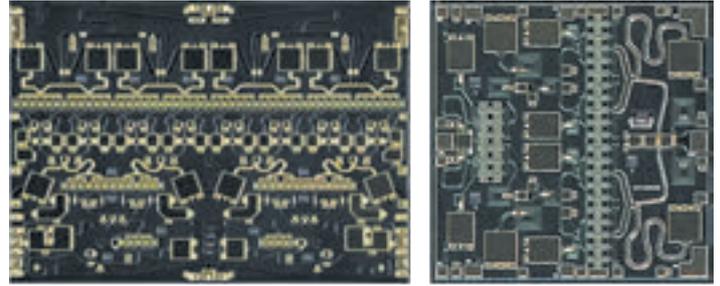
говых компаний не просто банальную поставку оборудования – «Поставил и забыл», а отладку технологического процесса, результатом которого станет серийная партия конкретных изделий. Но большинство поставщиков оборудования для микроэлектроники на отечественном рынке не обладает такими компетенциями. Ведь наиболее важным этапом на пути к серийному выпуску продукции является постановка сквозного технологического маршрута, после завершения поставки оборудования, шефмонтажа и пуска наладки. Данный этап является наиболее критичным с точки зрения временных затрат.

Постановка сквозного технологического маршрута на производстве включает в себя:

- постановку маршрута на конкретном комплекте технологического оборудования для утвержденного перечня изделий по дизайну заказчика;
- обучение персонала, передачу технологических знаний;
- оформление и передачу технологической документации;
- сдачу изделий по утвержденному перечню параметров.

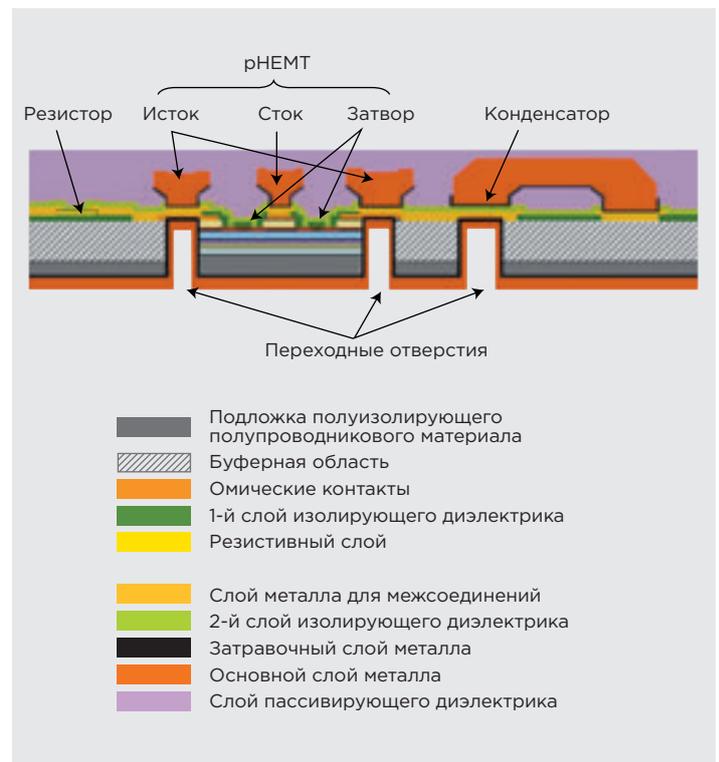
При запуске нового полупроводникового производства постановка сквозного технологического маршрута, включающего процессы эпитаксиального роста гетероструктур и постростовые процессы планарного цикла, может занять длительный срок (до нескольких лет) у команды технологов с недостаточным опытом выполнения подобных работ. Здесь необходим хороший партнер, сопровождающий проект на всех этапах: от проработки проекта и поставки оборудования до внедрения сквозной технологии. Это станет залогом успеха в построении фабрики по производству полупроводниковых компонентов в кратчайший срок. На рис 3 показан пример календарного плана выполнения такого проекта за 18 месяцев.

Одной из причин низких темпов роста производства микроэлектронных компонентов в России является технологическое отставание. Например, российские производители микроэлектроники в настоящее время освоили технологию уровня 65 нм на пластинах 200 мм, а у мировых производителей уже применяется технология с проектной нормой 16 нм на пластинах диаметром 300 мм. При этом начаты разработки по освоению технологического процесса на 10–7 нм с переходом на пластины размером 450 мм. Для уменьшения размеров элементов, перехода на меньшие топологические нормы и, как следствие, освоение более высоких диапазонов частот требуется применение новых технологий и современного оборудования, особенно при создании гетероструктур. Технологии на основе GaAs-структур позволяют производить МИС с рабочими частотами до 100 ГГц, а на основе GaN-структур – с выходной мощностью до 100 Вт. Зависимость максимальной мощности от частоты для приборов на



5

СВЧ МИС. Источник: [www.wolfspeed.com](http://www.wolfspeed.com)



6

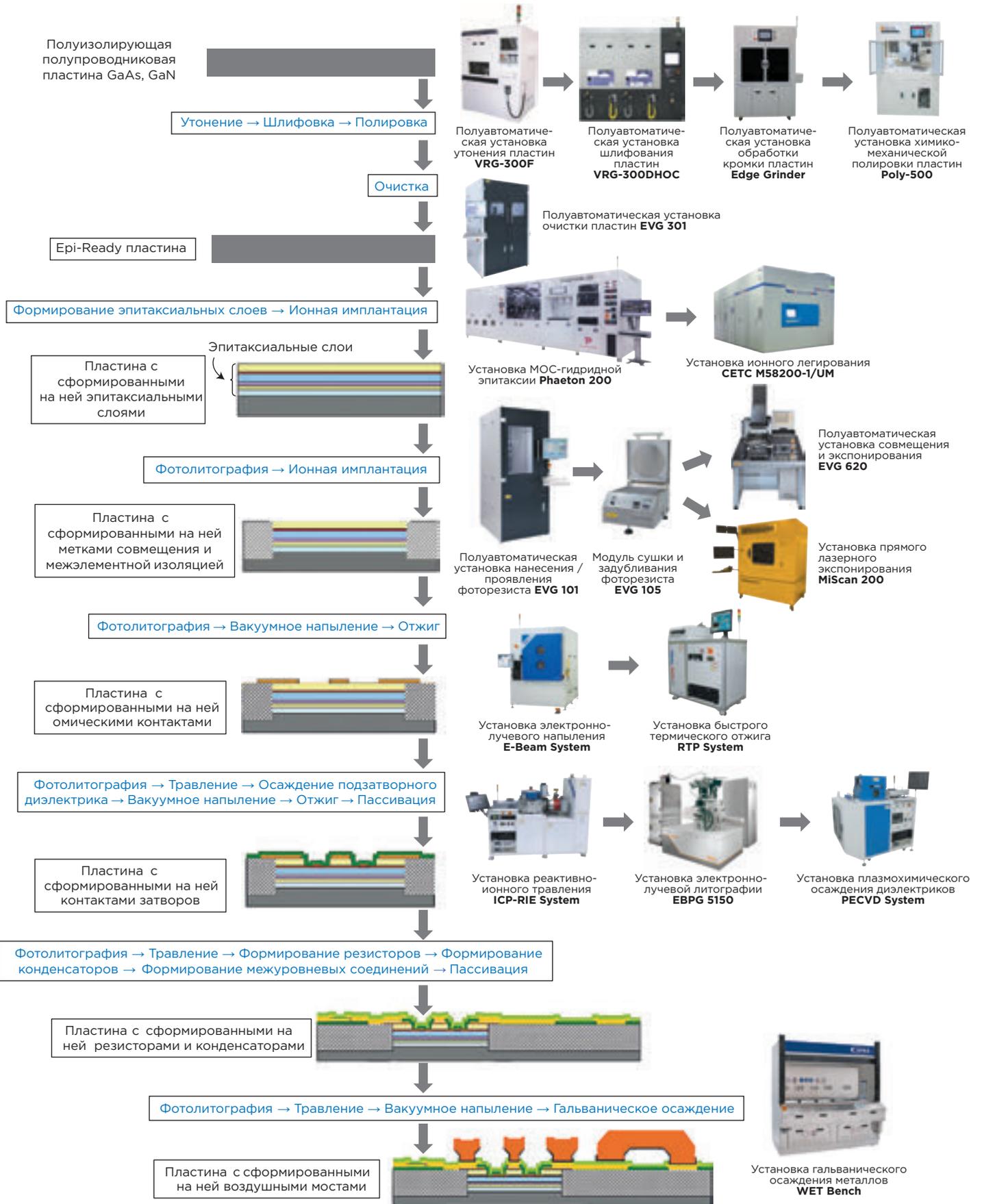
Типовая структура СВЧ МИС

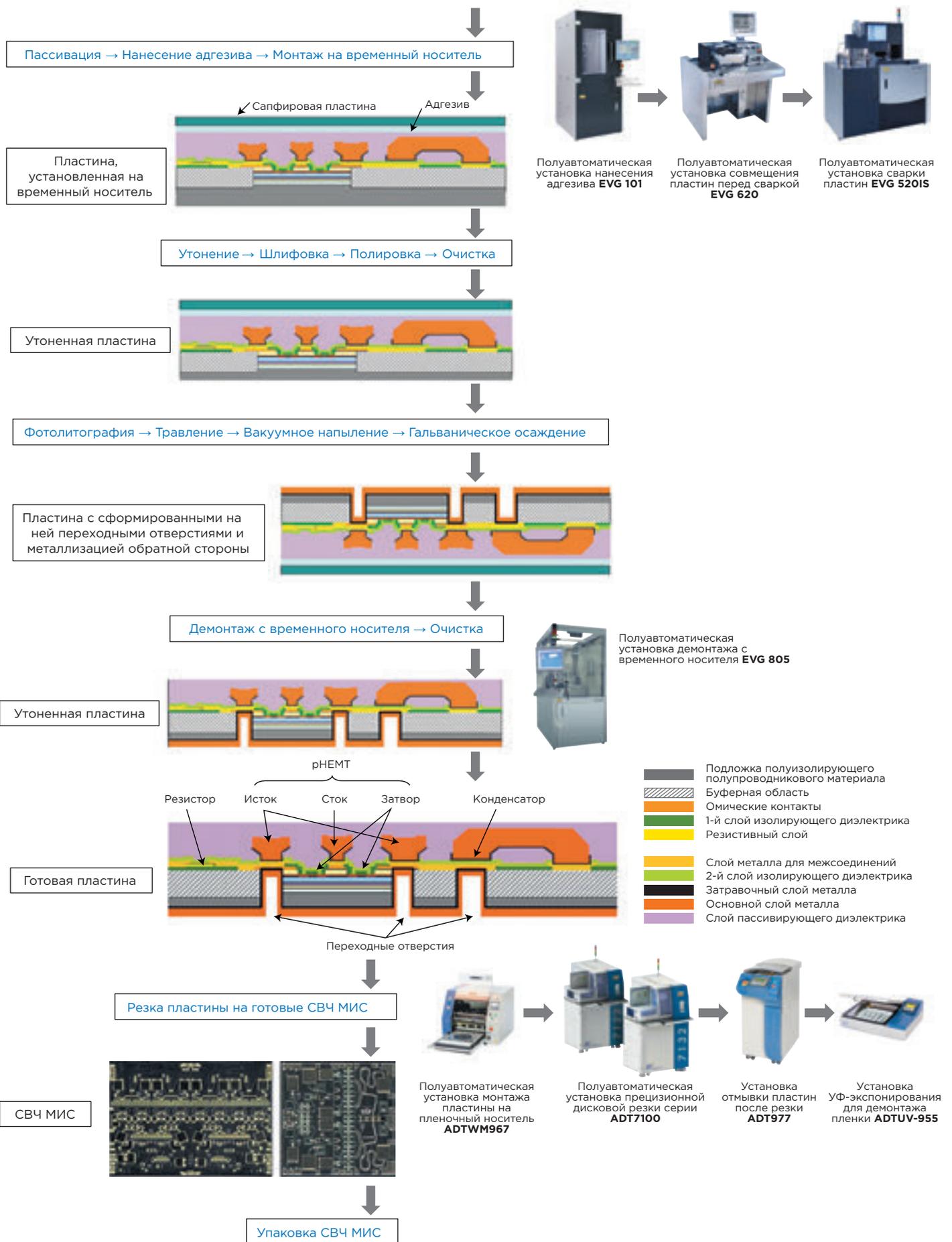
основе различных полупроводниковых материалов<sup>1</sup> показана на рис 4.

Одно из основных направлений производства микроэлектроники – монолитные интегральные схемы для сверхвысокого диапазона частот (СВЧ МИС) (рис 5), которые стали принципиально новой компонентной базой для радиоэлектронных систем и устройств. Благодаря СВЧ МИС можно уменьшить в несколько раз массогабаритные и стоимостные показатели производимых современных изделий. СВЧ МИС можно производить в больших объемах на серийных полупроводниковых производствах, они обладают хорошей воспроизводимостью электрических параметров

<sup>1</sup> Diamond Field-effect Transistors as Microwave Power Amplifiers. Makoto Kasu. 2010. [https://www.ntt-review.jp/archive/ntttechnical.php?contents=ntr201008sf3.pdf&mode=show\\_pdf](https://www.ntt-review.jp/archive/ntttechnical.php?contents=ntr201008sf3.pdf&mode=show_pdf)

## Типовое комплексное решение для производства СВЧ МИС на основе гетероструктур АІІІВV для НИОКР и мелкосерийного производства

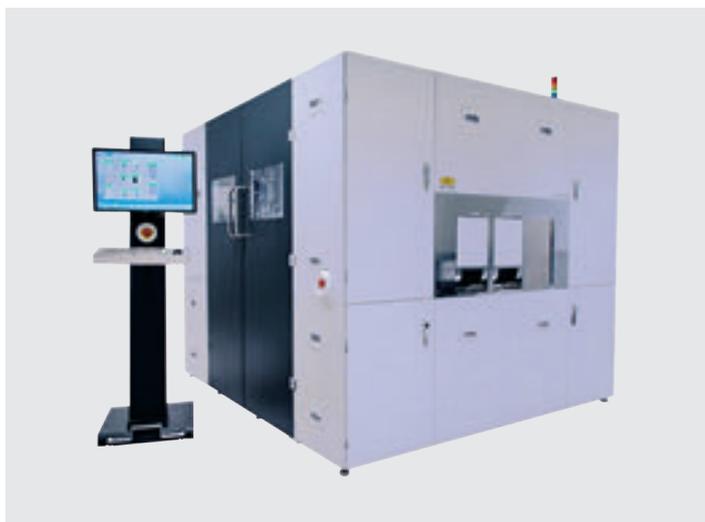






7

Установка МОС-гидридной эпитаксии Phaeton 200



8

Автоматическая установка нанесения, проявления и сушки фоторезиста EVG 150



10

Автоматическая установка монтажа компонентов с гранитным основанием T-8000-G

и высокой надежностью по отношению к ламповой технике<sup>2,3</sup>. Использование МИС позволяет улучшить различные характеристики систем: дальность действия, экономичность, чувствительность, скорость передачи данных и др.

СВЧ МИС на основе GaAs- и GaN-технологий нашли широкое применение в различных системах радиоэлектронного оборудования: в системах связи, радиолокации и радионавигации, средствах оптической связи, в автомобильной промышленности (радары), телекоммуникационном оборудовании (передатчики и приемники базовых станций сотовой и спутниковой связи).

Особенностью СВЧ МИС является изготовление как в объеме, так и на поверхности подложки в едином технологическом цикле всех элементов схемы, включая конденсаторы, резисторы, индуктивные элементы, межсоединения, воздушные мосты и переходные отверстия. Структура СВЧ МИС<sup>4,5,6</sup> показана на рис 6.

Основные процессы при производстве СВЧ МИС это: рост гетероструктур посредством МОС-гидридной (рис 7) или молекулярно-лучевой эпитаксии, ионное легирование, формирование топологии элементов субмикронных размеров фотолитографическими методами (рис 8, 9), плазмохимические, гальванические и высокотемпературные процессы и др. Здесь необходимы обширные компетенции с технологической стороны и современное оборудование с технической стороны.

Одна из важнейших проблем при использовании СВЧ МИС – обеспечение надлежащего надежного теплоотвода от нижней поверхности кристалла МИС. Ее можно решить, используя современные автоматические системы дозирования эвтектических припоев и монтажа компонентов (рис 10), а также специальные системы термической обработки в вакуумной среде. Это позволит избежать образования пустот под кристаллом.

Комплексный подход, основанный на опыте мировых производств микроэлектроники, позволит российским предприятиям быстро отрабатывать новые технологические режимы, обеспечивать переналадку производства в кратчайшие сроки и производить широкую номенклатуру изделий с высокой надежностью и наивысшим качеством. ▽

<sup>2</sup> Carey E/ Millimeter-Wave Integrated Circuits / E. Carey, S/ Lidholm – Boston: Springer, 2005. – 272 с.

<sup>3</sup> RFIC and MMIC design and technology / I.D. Robertson. – London: The Institution of Electronic Engineers, 2001. – 562 с.

<sup>4</sup> D. W. Johnson «Si-CMOS-like integration of AlGaIn/GaN dielectric-gate high-electron-mobility transistors», The Office of Graduate and Professional Studies of Texas A&M University, 2014. – 145 с.

<sup>5</sup> M. Meneghini et al. (eds.), Power GaN Devices, Springer International Publishing Switzerland 2017. – 380 с.

<sup>6</sup> S. Kayali, G. Ponchak, R. Shaw. GaAs MMIC Reliability Assurance Guideline. Jet Propulsion Laboratory California Institute of Technology Pasadena, California. December 15, 1996. <https://pdfs.semanticscholar.org/a31a/274e5b019e680fcc1868865f02eebcd63d45.pdf>