

# Мощные полупроводниковые приборы и перспективы SiC-технологии

М. Макушин<sup>1</sup>

УДК 621.37 | ВАК 05.11.01

Сектор мощных полупроводниковых приборов всегда был одной из важных частей рынка полупроводниковых приборов в целом – на них приходилось от 7–9% до 11–12% продаж. Основными факторами, влияющими на развитие данного сектора в настоящее время, можно назвать ужесточение требований к энергоэффективности во многих конечных применениях, потребность в новых материалах, структурах и методах корпусирования. Наиболее динамично развивающимися сегментами на данный момент являются GaN- и SiC-технологии. При этом больше половины SiC-приборов потребляется автомобильной промышленностью.

**И**ндустрия мощных полупроводниковых приборов в среднесрочном плане, до 2025 года, будет устойчиво развиваться, демонстрируя умеренные темпы роста в целом, и очень высокие – по наиболее перспективным направлениям. Ужесточение требований к энергоэффективности и занимаемому пространству ведут к увеличению значения модулей по сравнению с дискретными приборами.

На наращивание выпуска мощных полупроводниковых приборов влияют многие факторы. Один из них – дефицит мощностей по обработке 200-мм пластин и соответствующего технологического оборудования. Для преодоления этой проблемы ряд производителей GaN- и SiC-приборов переходят на обработку пластин диаметром 300 мм. Это способствует как увеличению выпуска продукции, так и снижению удельных издержек (на единицу продукции). Правда, GaN- и SiC-подложки в настоящее время в 5–20 раз дороже кремниевых, что сказывается и на цене самих мощных полупроводниковых приборов. Однако совершенствование технологий и наращивание объемов их выпуска будет способствовать снижению цены (эффект масштаба производства) и повышению конкурентоспособности.

Интересно также следующее: по мере освоения в производстве и дальнейшего развития перспективных технологий, включая SiC-технологию, смещается центр внимания проектировщиков и производителей. Если первоначально основными факторами считались высокие производительность и надежность, то теперь первостепенное значение придается снижению издержек. Производительность и надежность при этом из вида не упускаются.

## РЫНОК МОЩНЫХ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПРИБОРОВ

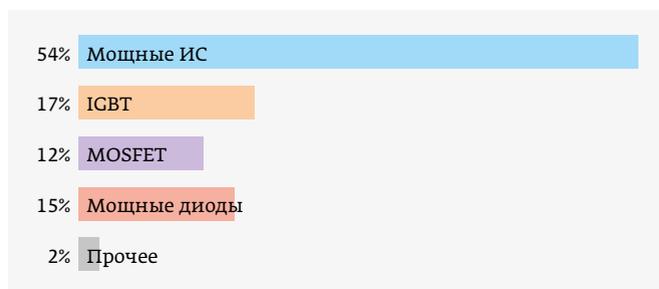
Несмотря на проблемы, с которыми полупроводниковая промышленность столкнулась в 2020 году, почти все прогнозы говорят о росте продаж мощных полупроводниковых приборов в перспективе до 2025 года. Так, фирма Research and Markets утверждает, что по состоянию на 2019 год объем их рынка составлял 41 млрд долл. или около 10% от объема мирового рынка полупроводниковых приборов в целом. В то же время исследовательские компании и ресурсы, такие как Market Research Future, Mordor Intelligence, Transparency Market Research и т. д., ожидают роста продаж до 55 млрд долл. к концу 2025 года. Соответственно темпы роста продаж в сложных процентах (CAGR) за прогнозируемый период составят не менее 4%.

Фирма Research and Markets считает, что устойчивым ростом в структуре продаж мощных полупроводниковых приборов (рис. 1) будут отличаться биполярные транзисторы с изолированным затвором (IGBT) и МОП полевые транзисторы (MOSFET). Движущими факторами их роста являются ужесточающиеся требования энергоэффективности во многих применениях, таких как электромобили, управление производственными процессами и бытовая техника. Во всех этих секторах растет спрос на китайскую продукцию (в частности из-за самого большого национального рынка) и популярность китайских брендов. При этом китайские производители уделяют большое внимание диверсификации цепочек поставок – во избежание последствий обостряющихся торговых противоречий [1].

## Рынок MOSFET до 2026 года

По данным Yole Développement (Лион, Франция), продажи полевых МОП-транзисторов (MOSFET) достигнут в 2026 году 9,4 млрд долл., а CAGR за период 2020–2026 годов составит 3,8%. На КНР приходится 38% продаж

<sup>1</sup> АО «ЦНИИ «Электроника», главный специалист, mmackushin@gmail.com.



**Рис. 1.** Структура мирового рынка мощных полупроводниковых приборов в 2019 году. Источник: Yole Développement

кремниевых MOSFET, к китайским фирмам относятся Jilin Sino Microelectronics, Silan Microelectronics, CRMicro и SiEn (строит завод по обработке 300-мм пластин).

По конечному потреблению 37% продаж кремниевых MOSFET (2,8 млрд долл.) приходится на потребительский рынок. Спрос на мощные кремниевые MOSFET растет со стороны производителей авто- и электромобилей – за счет все более широкого внедрения вспомогательных систем и электрификации. Рост спроса на вспомогательные электроприводы ведет к росту спроса на MOSFET с малым напряжением, а электрификация ведет к росту спроса на MOSFET высокого напряжения (в том числе DC/DC-преобразователи и бортовые зарядные системы). Эти два сегмента вместе составляют сегодня 21% рынка MOSFET. К 2026 году ожидается увеличение до 32% [2]. Отмечается, что рост использования MOSFET в основном связан с проникновением в этот сектор SiC-приборов.

## На рынке IGBT растет значение модулей

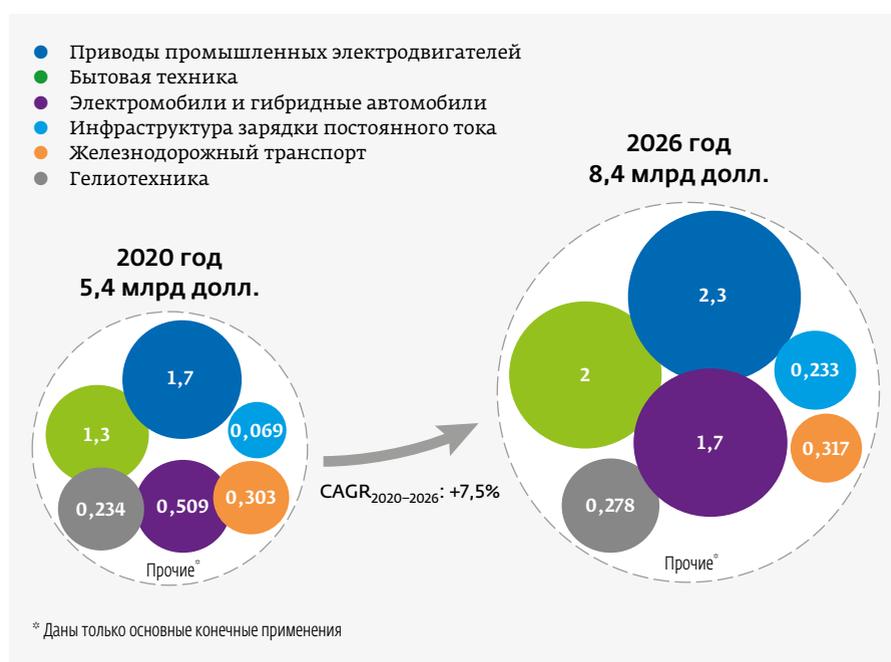
Специалисты Yole Développement прогнозируют, что рынок биполярных транзисторов с изолированным затвором (IGBT) будет расти в 2020–2026 годах с CAGR около 7,5%. В 2026 году продажи на нем достигнут 8,4 млрд долл. При этом на сегмент IGBT-модулей придется 81% от общего рынка, чему будет способствовать внедрение электромобилей и гибридных автомобилей. В 2026 году крупнейшим сектором конечного применения IGBT останутся промышленные электромоторы (приводы электродвигателей), но их доля в общем потреблении снизится с 31,5 до 27,4% (рис. 2). Кроме того, будет повышаться номинальное напряжение – более 80% рынка IGBT

в 2026 году будут составлять приборы с диапазоном номинального напряжения 600–1200 В. На системном уровне это выглядит так: инверторы электромобилей переходят с 400 на 800 В, а инверторы фотоэлектрических модулей – на 1,5 кВ.

Аналитики указывают на множество технических новшеств: новое поколение кристаллов IGBT, более высокую эффективность и более низкую стоимость. При корпусировании особое внимание уделяется повышению надежности, снижению издержек и индуктивности электрических межсоединений. Поставщики IGBT пытаются извлечь выгоды из разработки методик корпусирования приборов на карбиде кремния (SiC). На уровне полупроводниковых пластин аналитики видят тенденции производства IGBT на 300-мм пластинах и перехода на кремниевый материал подложек, выращенных методом Чохральского в магнитном поле (magnetic Czochralski, MCz-подложки).

Производители IGBT разбросаны по многим странам мира, но при этом наблюдается значительный рост китайских производителей, как кремниевых заводов (контрактное производство ИС), так и IDM (полупроводниковые фирмы полного цикла – разработка, проектирование и производство ИС). Все основные игроки инвестируют в увеличение мощностей по производству IGBT. Рейтинг основных поставщиков IGBT практически не изменился. В тройку лидеров входят: Infineon, Mitsubishi и ON Semi.

Дискретные IGBT и IGBT силовые модули используются не только в электромобилях и гибридных автомобилях,



**Рис. 2.** Структура рынка IGBT в 2020 и 2026 годах по конечному применению. Источник: Yole Développement

но и в приводах промышленных электродвигателей, ветряных турбинах, гелиотехнических установках, поездах, источниках бесперебойного питания (ИБП), инфраструктуре зарядки электромобилей и бытовых приборах. В 2020 году крупнейшими сегментами рынка IGBT были промышленные применения и бытовая техника. За ними последовали электромобили и гибридные автомобили, рынок IGBT для которых составил 509 млн долл. в 2020 году, причем, этот рынок в период 2020–2026 годов будет демонстрировать CAGR=23%. Это связано с переходом от автомобилей с двигателями внутреннего сгорания (ДВС) к электромобилям и гибридным автомобилям, что во многом определяется политикой многих государств, направленной на сокращение выбросов CO<sub>2</sub>. Темпы этого перехода увеличиваются в связи с планами действий администрации президента Байдена в США, а также недавней инициативой ЕС по климату, в соответствии с которой все новые автомобили, зарегистрированные в Европе с 2035 года, должны быть с нулевым уровнем выбросов CO<sub>2</sub>. Таким образом, к 2026 году доля сегмента IGBT для электромобилей и гибридных автомобилей увеличится более чем вдвое.

Специалисты Yole Développement считают, что эти решения правительств также влияют на инфраструктуру зарядки, поскольку именно развитие зарядных устройств имеет решающее значение для расширения использования электромобилей. В настоящее время инфраструктура зарядки по-прежнему является небольшим рынком для IGBT, но ожидается, что емкость этого сектора в ближайшие пять лет увеличится более чем на 300%.

Крупнейшие производители IGBT, включая Infineon, Littelfuse и vFuji Electric, предлагают как дискретные IGBT, так и силовые IGBT-модули. Крупные IDM, включая Danfoss, Mitsubishi, CRRC и т. д., предлагают в основном IGBT-модули. Большинство фирм, выпускающих продукцию с низким напряжением, предлагают дискретные IGBT. Ориентируясь на крупнейшие сектора рынка IGBT, все производители предлагают компоненты на напряжение 600–1200 В, при этом наибольшее число предложений предназначено для диапазона от 800 до 1000 В. Некоторые производители, включая Mitsubishi, Toshiba и ON Semi, стремятся отличиться от конкурентов, предлагая IGBT-приборы с «промежуточными» уровнями номинального напряжения – 1300, 1350 и 2000 В. По уровню разработок и производства, а также по объемам выпуска, китайские производители IGBT быстро догоняют конкурентов из других стран.

Производственные мощности по обработке 200-мм пластин, предназначенных для выпуска мощных полупроводниковых приборов, демонстрируют высокие коэффициенты использования, но возможности их расширения ограничены (дефицит оборудования). Поэтому ряд производителей для удовлетворения потребностей

растущего рынка IGBT переходят на обработку пластин диаметром 300 мм, что позволяет не только увеличить производственные мощности (на одной пластине большего диаметра формируется в 1,8–2,3 раза больше кристаллов), но и снизить удельные издержки (в пересчете на прибор). Поэтому неудивительно, что все основные игроки с целью увеличения объемов производства в течение следующих 10 лет планируют осуществить крупные инвестиции в расширение мощностей по производству IGBT, делая ставку именно на переход к обработке 300-мм пластин. Это позволит улучшить структуру затрат, обеспечив лучшие позиции в противостоянии растущей конкуренции со стороны китайских производителей. Однако ряд китайских изготовителей также осваивают обработку 300-мм пластин (в большинстве случаев сохраняя и 200-мм линии) – расширение существующих мощностей идет в основном за этот счет. Так, например, действуют HNGrace и CanSemi. Используется и путь приобретения иностранных компаний, хотя здесь китайские фирмы и инвестиционные фонды сталкиваются с ужесточением контроля западных стран [3].

### Продажи мощных GaN- и SiC-приборов – наивысшие темпы роста

По данным ресурса TrendForce, наибольшие темпы прироста продаж в период 2020–2025 годов будут демонстрировать GaN и SiC мощные полупроводниковые приборы (табл. 1).

Продажи GaN мощных полупроводниковых приборов в 2021 году увеличатся на 73% и достигнут 83 млн долл. Тремя крупнейшими секторами конечного потребления GaN мощных полупроводниковых приборов являются потребительская электроника, транспортные средства (ТС) на новых источниках энергии (NEV) и телекоммуникационное оборудование / центры обработки данных (ЦОД). На них приходится 60, 20 и 15% потребления данных приборов соответственно.

Что касается SiC мощных полупроводниковых приборов, то тремя крупнейшими секторами их конечного потребления являются NEV, средства генерации / хранения электричества из солнечной энергии и зарядные станции. На них приходится 61, 13 и 9% потребления данных

**Таблица 1. Продажи и темпы роста GaN и SiC мощных полупроводниковых приборов в период 2020–2025 годов**

Тип приборов	Объем продаж, %		CAGR <sub>2020–2025</sub> , %
	2020	2025 (прогноз)	
GaN	0,048	0,850	78,0
SiC	0,680	3,390	38,0

приборов соответственно. В NEV-индустрии SiC-приборы наиболее широко используются в инверторах силовых агрегатов, бортовых зарядных устройствах и преобразователях постоянного тока (DC-DC).

Надо отметить, что и GaN-, и SiC-подложки сейчас в 5–20 раз дороже в производстве по сравнению с традиционными 200-мм и 300-мм кремниевыми подложками. Большая часть поставок этих подложек (как материалов) в настоящее время контролируются корпорациями Cree, II-VI (Саксонбург, Пенсильвания), Rohm и STMicroelectronics [4].

## ГРЯДУЩАЯ ЭРА SiC-ПРИБОРОВ В ОБЛАСТИ ТРАНСПОРТНЫХ Где в системах электромобилей / гибридных электромобилей наибольший рыночный потенциал для SiC-приборов?

По мнению отраслевых аналитиков, основными движущими силами электрификации пассажирских ТС являются ужесточающиеся требования правительств различных стран по сокращению выбросов CO<sub>2</sub>. Автопроизводители, стремясь избежать серьезных финансовых санкций, уделяют все больше внимания электрификации ТС как одному из наиболее эффективных способов сокращения выбросов. На рынке уже представлены модели

транспортных средств с различными уровнями электрификации (рис. 3), начиная от электромобилей с малой гибридизацией (или мягких гибридных) (MHEV), полностью гибридных электромобилей (Full HEV) и подзаряжаемых гибридных электромобилей (PHEV) до электромобилей на батареях с нулевым уровнем выбросов (BEVs) и электромобилей на топливных элементах (FCEV).

Ранее ожидалось, что переход на полностью электрические ТС будет происходить достаточно медленно и постепенно. В основном это было обусловлено высокой стоимостью аккумуляторных батарей и небольшим запасом хода электромобилей. Но в настоящее время наблюдается ускоренное внедрение электромобилей (рис. 4) благодаря быстрому совершенствованию технологий аккумуляторных батарей, снижению затрат на их производство, консолидации цепочек поставок и многим другим факторам.

В одном из своих последних исследований по силовой электронике (Power Electronics for E-Mobility 2021) аналитики Yole Développement утверждают, что электромобили и гибридные электромобили (EV/HEV) уже стали основной движущей силой инноваций в области силовой электроники. При этом особое внимание уделяется тяговым инверторам для электромобилей на аккумуляторных батареях с нулевыми выбросами (BEV). Ожидается,

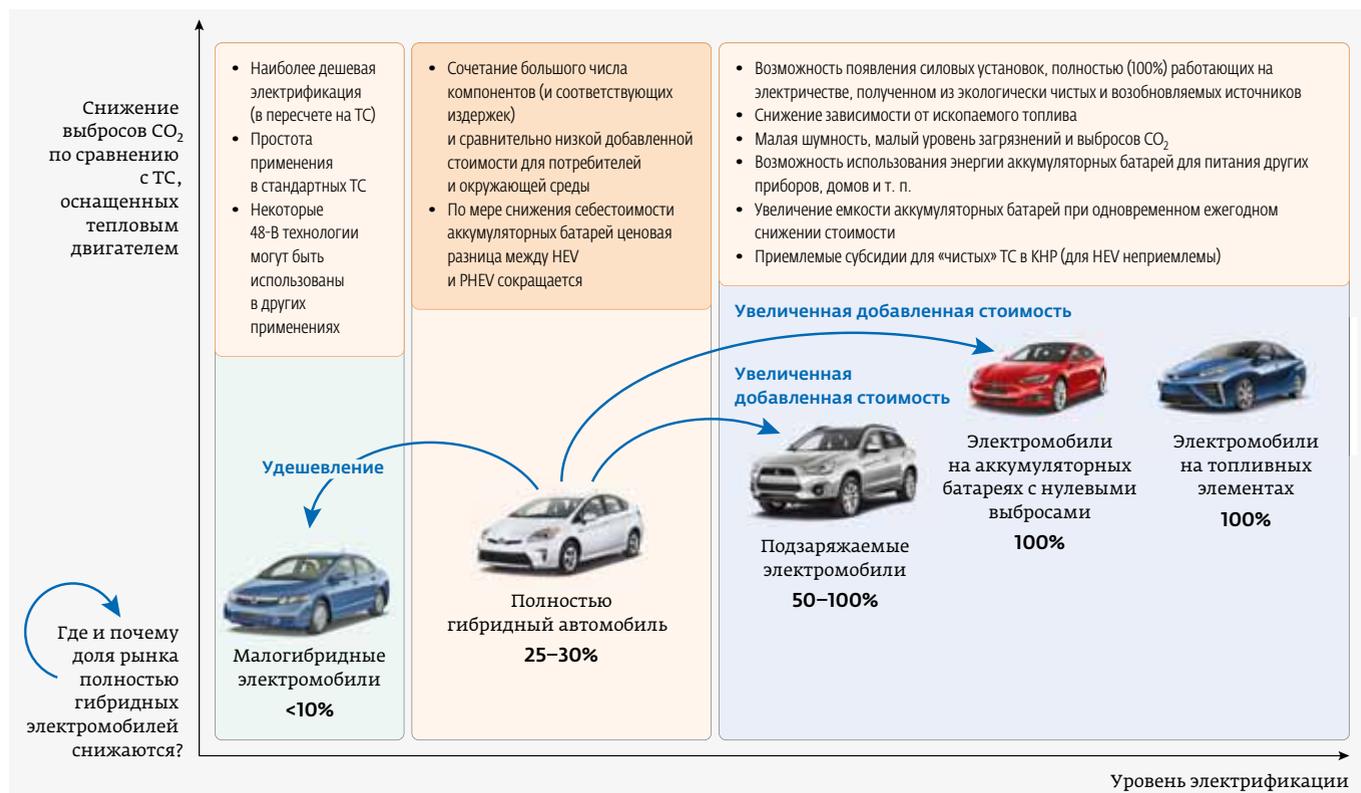


Рис. 3. Будущее электрификации транспортных средств – снижение выбросов CO<sub>2</sub> по сравнению с уровнем электрификации. Источник: Yole Développement

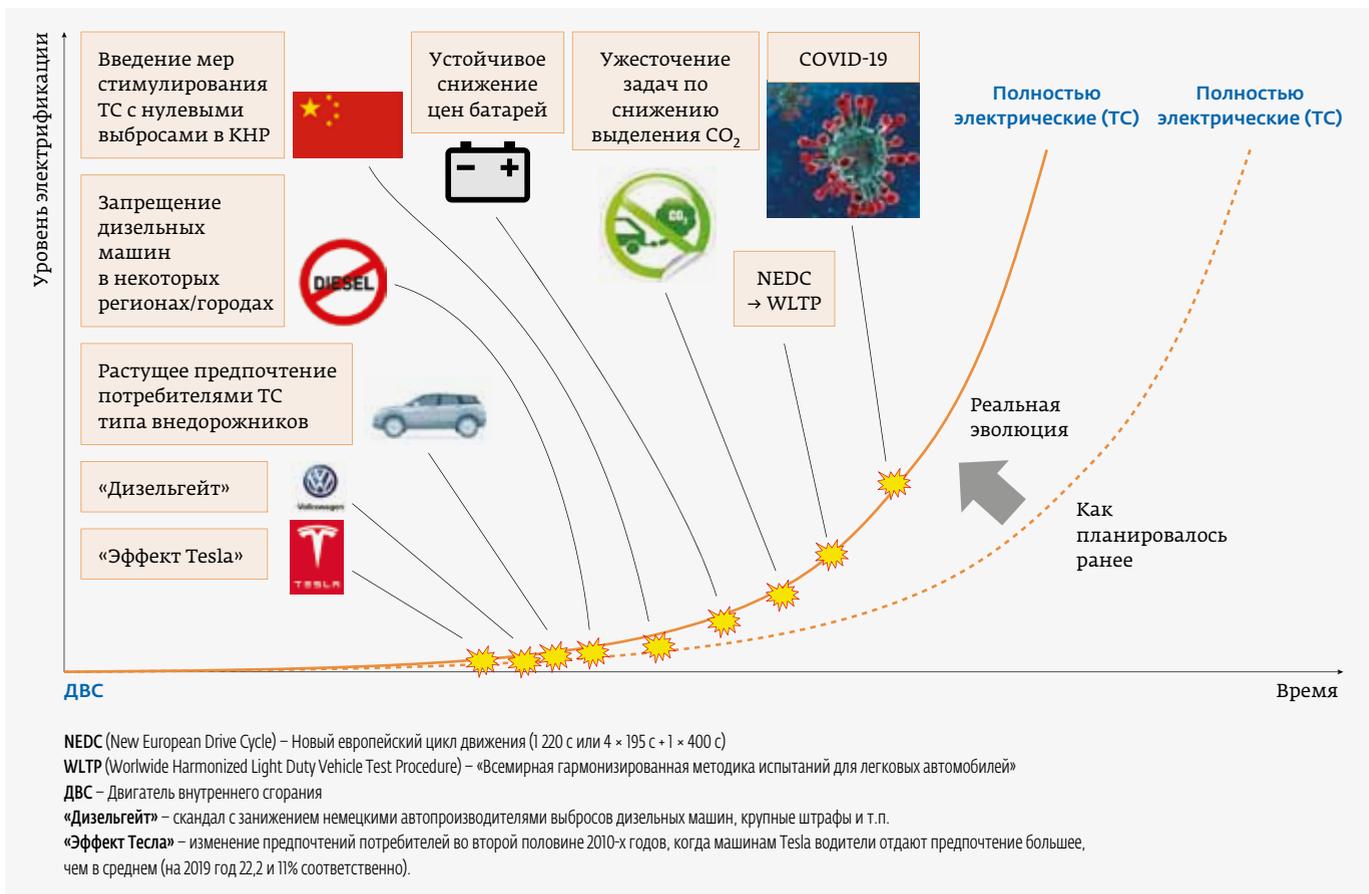


Рис. 4. Ускорение электрификации транспортных средств. Источник: Yole Développement

что рынок EV/HEV в 2026 году превысит 41 млн машин, а CAGR<sub>2020–2026</sub> составит 35%.

Почему именно BEV? Потому, что они уже являются относительно большим и быстрорастущим рынком и рассматриваются как конечная точка электрификации ТС, а это обеспечивает устойчивые возможности для развития бизнеса. Почему тяговые инверторы? Тяговый инвертор наряду с аккумуляторным и электродвигателем – это три ключевых элемента дифференциации при сравнении технологических характеристик ТС различных поставщиков. Повышение эффективности инвертора ведет к снижению энергопотерь на пути от аккумулятора к двигателю и обеспечивает большой запас хода. Характеристики инвертора также оказывают непосредственное влияние на производительность автомобиля и опыт вождения пользователя.

Автопроизводители при проектировании и производстве силовых модулей используют все более комплексные, всеохватывающие подходы. Поскольку корпусирование силовых модулей является для автопроизводителей относительно новой концепцией, то разработки силовых модулей с высокой производительностью и низкими производственными затратами требуют значительных затрат

времени. Из-за этого некоторые автопроизводители предпочитают сосредоточиться непосредственно на новой технологии MOSFET на основе SiC, вместо того чтобы сталкиваться с конкуренцией со стороны производителей силовых модулей, обладающих большим опытом работы с уже хорошо зарекомендовавшими себя автомобильными силовыми модулями на кремниевых IGBT. Эта тенденция ярко проявилась на примере внедрения SiC-модулей в тяговые инверторы ТС фирмы Tesla (Model 3).

### Устойчивость поставок и новые решения – ключевые факторы успеха внедрения SiC-технологии

Период 2017–2019 годов был примечателен для рынка SiC мощных полупроводниковых приборов не только их использованием в электромобиле Model 3 фирмы Tesla, но и их распространением на модели S и модель X. Tesla не только продемонстрировала преимущества максимальной производительности SiC в тяговых инверторах, но и сократила разрыв между кремниевой технологией и технологиями на основе материалов с широкой запрещенной зоной. С тех пор разработка SiC-приборов, отвечающих требованиям автомобильной промышленности,

# Приглашаем Вас 19-20 октября на наш стенд №С03 на SEMIEXPO Russia 2021, ЦВК «Экспоцентр» (пав. 4), г. Москва



ПРОЕКТИРОВАНИЕ

ГЕНЕРАЦИЯ  
ИЗОБРАЖЕНИЙ

КОНТРОЛЬ  
ФОТОШАБЛОНОВ

РЕМОНТ  
ФОТОШАБЛОНОВ

ФОТОЛИТОГРАФИЯ

КОНТРОЛЬ  
ПЛАСТИН

СБОРКА ИЗДЕЛИЙ  
МИКРОЭЛЕКТРОНИКИ

## БЕЗМАСОЧНАЯ ЛИТОГРАФИЯ

- Многоканальные лазерные генераторы изображений
- Проектная норма 0,35, 0,6  $\mu\text{m}$
- Высокая точность совмещения
- $\varnothing 200, 150, 100$  мм



## ГЕНЕРАТОРЫ ИЗОБРАЖЕНИЙ

- Диапазон UV, DUV
- Проектная норма 90, 130 нм
- 16/32-лучевая архитектура
- Фазосдвигающие шаблоны
- Быстрая переналадка пластина — шаблон



## КОНТРОЛЬ ФОТОШАБЛОНОВ

- Проектная норма 90, 130, 250 нм
- Твердотельный лазер
- Контроль методом D2DB, D2D
- Высокая производительность
- Контроль неплоскостности



## РЕМОНТ ФОТОШАБЛОНОВ

- Фемтосекундный лазер
- 0,15/ 0,3/ 0,5  $\mu\text{m}$  min элемент
- Размер шаблона до 9"х9"
- Ремонт копированием
- Ремонт через пелликл
- Прозрачные / непрозрачные дефекты



## КОНТАКТНАЯ ЛИТОГРАФИЯ

- Ручная и автоматизированная загрузка
- Двусторонняя литография
- Высокая точность совмещения
- Низкий уровень генерации дефектов
- Высокая энергоэффективность



## СТЕППЕРЫ

- Проектная норма 0,35, 0,8  $\mu\text{m}$
- Автоматический масштаб
- Двустороннее совмещение
- $\varnothing 200, 150, 100$  мм
- Твердотельный источник света



## КОНТРОЛЬ ТОПОЛОГИИ

- Контроль привносимых дефектов пластин без топологии
- Автоматический микро и макро контроль дефектов пластин с топологией
- Высокая производительность



## АВТОМАТИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ И ИЗМЕРЕНИЕ

- Контроль микроразмеров
- Контроль неплоскостности
- Контроль координат
- Контроль толщин
- Контроль рассовмещения



## ЗОНДОВЫЙ КОНТРОЛЬ

- $\varnothing 200, 150, 100$  мм
- $\pm 4$  мкм погрешность контактирования
- Ручное / полуавтоматическое / автоматическое оборудование



## РАЗДЕЛЕНИЕ ПЛАСТИН И ПОДЛОЖЕК

- $\varnothing 300, 200, 150, 100$  мм
- 2 независимые зоны разделения в одной установке
- 2,4 кВт мощность электрошпинделя
- Полуавтоматическое / автоматическое оборудование



*Создаем традиции будущего!*



- Единое таможенное пространство
- С 1962г. опыт в разработке и производстве прецизионного оптико-механического и сборочного оборудования
- Высокий уровень применяемых технологий и современного оборудования
- Полный цикл разработки и производства, высококвалифицированный персонал
- Высокое качество изделий подтверждено национальными и международными стандартами
- Возможность комплексной поставки оборудования, адаптированного для Российского рынка, программного обеспечения для поддержки процессов изготовления фотошаблонов и 3D-моделирования для фотолитографии компании GeniSys (Германия)

Республика Беларусь  
220033, г. Минск  
Партизанский пр-т, 2

тел: (+375 17) 226 09 82  
(+375 17) 223 22 26  
факс: (+375 17) 226 12 05

office@kbtem-omo.by  
kbtem.omo@gmail.com  
www.planar.by



ускорилась, увеличилось число «победных конструкций»<sup>\*</sup> основных инверторов и бортовых зарядных устройств, появились новые модели с SiC-приборами. Так, в 2020 году китайская BYD приступила к выпуску модели HanEV, а американская компания Lucid представила Lucid Air – обе машины были оснащенные основными инверторами с использованием полных SiC-модулей. SiC мощные полупроводниковые приборы только начали свое проникновение в развивающийся бизнес, число примеров их использования в ТС постоянно увеличивается. По оценкам Yole Développement, объем продаж SiC-приборов для электромобилей/гибридных электромобилей в 2025 году может превысить 1,5 млрд долл., а CAGR<sub>2019–2025</sub> составит 29% (рис. 5).

После успешного внедрения SiC-приборов одним из наиболее важных вопросов, вставших перед отраслью, стала доступность SiC-пластин. Для удовлетворения растущих потребностей ведущие производители подложек, такие как Cree, SiCrystal (Нюрнберг, ФРГ, подразделение ROHM Group), II–VI, осуществили значительные инвестиции в выращивание кристаллов, в то время как почти все ведущие производители приборов приобрели сторонние или ускорили развитие собственных подразделений распиловки (полупроводникового кристалла/слитка на пластины). В течение 2019–2020 годов ведущие производители SiC-приборов, такие как STMicroelectronics, Infineon и ON Semiconductor, подписали долгосрочные

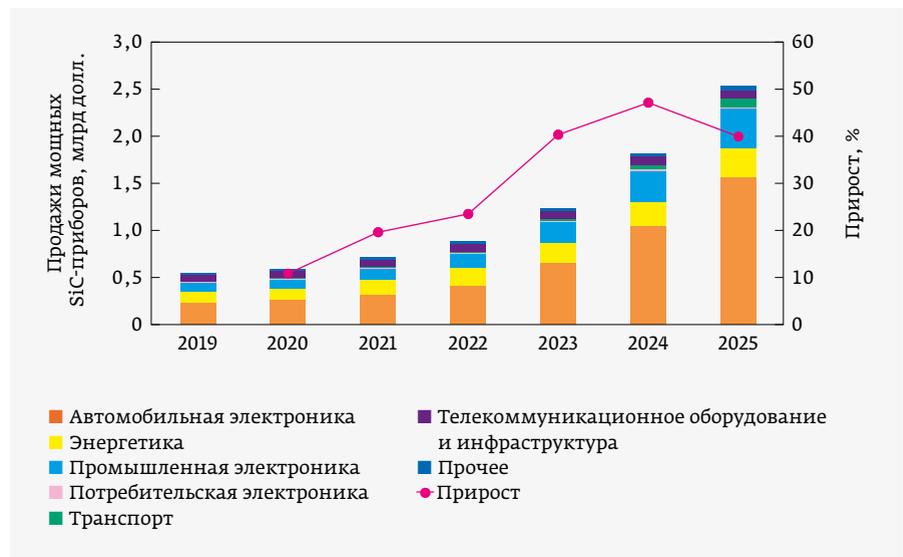


Рис. 5. Динамика и прогноз структуры рынка мощных SiC-приборов по конечному потреблению в 2019–2025 годах. Источник: Yole Développement

соглашения с ведущими поставщиками SiC-пластин и кристаллов – Cree, SiCrystal и GTAT.

С появлением электромобилей с аккумуляторами на 800 и 1200 В интерес к SiC-технологии значительно усилился. Разрабатываемая уже несколько лет технология SiC MOSFET на 1,2 кВ, предназначенная для применения в тяговых инверторах, является для многих производителей SiC-приборов вопросом высокого приоритета. Следующей по приоритетности стоит задача разработки подходящей методики корпусирования, позволяющей в полной мере воспользоваться выгодами добавленной стоимости SiC MOSFET.

Актуальность инновационных решений корпусирования SiC-модулей/приборов обусловлена современными рыночными и технологическими тенденциями, выявленными аналитическими фирмами Yole Développement и System Plus Consulting. В электрических ТС доступное пространство в моторном отсеке часто ограничено. Следовательно, размеры электрической трансмиссии EV требуют уменьшения и, соответственно, более высокой плотности мощности. Следовательно, для повышения производительности устройства необходимы новые корпуса. На самом деле, при более высоких температурах у стандартных пластиковых корпусов могут возникнуть различные проблемы с надежностью, от склеивания проводов и подложки до нарушения герметичности. Более того, для сохранения конкурентоспособности на высоко конкурентном рынке, производители силовых модулей должны соблюдать баланс между высоким уровнем надежности и сохранением рентабельности.

Поскольку электромобили все еще являются относительно новым сегментом бизнеса, многие игроки уделяют

\* Design win – «победная конструкция», «конструкция-победитель» – термин, описывающий продукт (комплектующий элемент конечной системы), встроенный в модель продаж другой компании по итогам конкурса/отбора с точки зрения архитектурных и/или производственных показателей. В некоторых случаях, принятая на стадии планирования, «победная конструкция» может повлиять на архитектуру конечной электронной системы, в которой она используется. С точки зрения лицензирования, термин «победная конструкция» может описывать ситуацию, когда лицензированный потребитель начинает развитие серийного производства изделий (комплектующих), использующихся в конечной продукции, чьи начальные продажи оказываются чрезвычайно успешными. Тем не менее, «победная конструкция» (на уровне оценки) на стадии ее проектирования и доводки не означает автоматического перехода к массовому производству, но является критически важным шагом в процессе освоения массового производства.



## ИСПЫТАТЕЛЬНАЯ ЛАБОРАТОРИЯ

## ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ СОВМЕСТИМОСТИ

### АО «ТЕСТПРИБОР» ПРОВОДИТ ИСПЫТАНИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ И РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ НА ЭМС

#### Преимущества:

- ✓ ИЛ ЭМС аккредитована в системах «Военный регистр» и «АР МАК»
- ✓ Наличие всего необходимого оборудования и средств измерений
- ✓ Высококвалифицированный персонал
- ✓ Возможность проведения выездных испытаний на территории Заказчика
- ✓ Возможность проведения исследовательских испытаний

#### ВИДЫ РАБОТ (ИСПЫТАНИЙ)

- Устойчивость к изменениям в системе электропитания
- Восприимчивость к кондуктивным помехам
- Измерение уровня электромагнитных помех
- Устойчивость к воздействию электростатических разрядов, переменных электрических и магнитных полей
- Измерение коэффициента экранирования различных материалов
- Разработка программ и методик проведения испытаний
- Испытания по ТЗ заказчика



+7 (495) 657-87-37



tp@test-expert.ru  
www.test-expert.ru



125480, г. Москва,  
ул. Планерная, д. 7А

большое внимание дифференциации продукции, концентрируясь на высокой производительности. Это часто достигается за счет использования очень специфических и запатентованных конструкций модулей, основанных на решениях корпусирования, обеспечивающих высокую производительность и высокую надежность. Производители по-прежнему предлагают традиционные силовые модули с пластиковым корпусом, полностью проволочным монтажом и оловянными припоями, но новые решения позволяют лучше интегрировать модуль в конечную систему в соответствии с требованиями к производительности. Производители силовых модулей разрабатывают различные решения, позволяющие ограничить склеивание проводов или формованные структуры для эффективного охлаждения мощных полупроводниковых кристаллов ИС, снижения индуктивности электрических соединений, повышения надежности.

В сфере корпусирования наблюдаются различные тенденции, охватывающие аспекты собственно корпусирования (структуры трансферного формования, пластиковые корпуса, металлические корпуса, ...), конструкции плат (радиатор-теплосъемник игольчатого типа, ...), плат в сборе (внешняя базовая плата, встроенная базовая плата в металлическом корпусе, ...), технологий охлаждения (одностороннее или двустороннее охлаждение), подложка (SiN AMB (пайка активными металлами), ...), прикрепления кристалла (спекание серебра, крепление на основе олова для трафаретной печати...) и подложек кристалла (SiC, Si).

Формованные модули с двухсторонним охлаждением устраняют необходимость в пластиковых корпусах и обеспечивают возможность создания более компактных и модульных инверторов. Это относится, например, к силовому модулю с двухсторонним охлаждением Hitachi с его интегрированной базовой платой в металлическом корпусе (инвертор Audi E-tron). Аналогичные решения двустороннего охлаждения предлагают Infineon Technologies и Toyota. Модули отличаются не только разным числом переключателей, но и использованием различных материалов. Большое влияние на рассеивание тепла оказывают подложки. В качестве материала для выводных рамок широко используется медь с одновременным все более частым применением новых интегрированных радиаторов-теплосъемников игольчатого типа, AMB керамических подложек. Кроме того, важную роль в повышении надежности модуля, особенно при более высоких температурах, играют припои. Использование спекания серебра становится все более и более распространенным и применяется на разных уровнях, либо под кристаллом, либо под подложкой.

Для уменьшения индуктивности, порождаемой соединениями, наблюдается тенденция к использованию медных зажимов или более крупных соединений – вместо

монтажа толстой проволокой. Кроме того, в мощных автомобильных модулях Mitsubishi (J1-Series 650V) вместо классического силиконового геля используется новая эпоксидная смола.

### **Потребность в новых адаптированных решениях для корпусирования силовых модулей**

Для полной реализации преимуществ SiC-технологии необходимо разработать новые решения для корпусирования силовых модулей, поскольку SiC-приборы могут работать при более высоких температурах перехода и более высоких частотах переключения – при меньших размерах кристалла. Решения корпусирования силовых модулей развиваются в направлении применения материалов с высокими эксплуатационными характеристиками, уменьшения числа слоев, размеров и интерфейсов при сохранении электрических, тепловых и механических характеристик.

Наивысшую производительность и надежность силовых SiC-модулей для тяговых инверторов EV может обеспечить «Золотой треугольник»: SiC кристалл, крепление кристалла спеканием серебра и керамическая подложка из нитрида кремния (SiN) с использованием техники AMB. Пример – SiC-модуль STMicroelectronics в инверторе электромобиля Model 3 от Tesla. Инвертор состоит из 24 силовых модулей («I-V-1»), собранных на радиаторе-теплосъемнике игольчатого типа. SiC MOSFET-модули присоединены к SiN AMB-подложке методом спекания и подключены непосредственно к клеммам с помощью медных зажимов.

Однако заказчик не всегда выбирает решение с наивысшей производительностью – не менее важным фактором, определяющим выбор, является заводская себестоимость. Надо отметить, что если основополагающее значение для производительности прибора имеют выбор материала силового модуля и его конструкция, то решающее значение для снижения затрат имеет применение методики DFM (design-for-manufacturing). Это методика проектирования с обеспечением возможности непосредственного (прямого) внедрения (изделия) в производство с точки зрения выхода годных, качества продукции и др.

Важно обратить внимание на следующее: в последние годы против стандартизации в проектировании силовых модулей играют два фактора – быстрое развитие технологий на всех уровнях проектирования и стоимость модулей. Кроме того, в перспективе ожидается появление еще более инновационных конструкций и решений в области корпусирования. Требование экономии затрат на этапах интеграции побуждает компании разрабатывать инновационные решения для корпусирования и интеграции модулей. Как прямое следствие, ожидается, что вся цепочка поставок корпусирования силовых модулей претерпит значительные изменения.

После первоначального акцента на высокую производительность и высокую надежность можно ожидать, что в дальнейшем основное внимание при разработке будет уделено снижению затрат. Это необходимо для повышения конкурентоспособности новых решений по сравнению с существующими решениями в области силовых модулей на основе кремниевых IGBT. Теперь можно с уверенностью утверждать, что в обозримом будущем SiC-технология всегда будет находиться в прямой конкуренции с традиционной и зрелой кремниевой технологией, отличающейся малыми издержками. То есть можно утверждать, что в силовой электронике наступает эра SiC-технологии... [5].

\* \* \*

Очевидно, что в среднесрочной перспективе рынок мощных полупроводниковых приборов будет устойчиво развиваться. Наибольшие темпы роста в период до 2025 года продемонстрируют GaN- и SiC-приборы. При этом наращивание их производства будет достигаться за счет перехода на обработку пластин диаметром 300 мм. Это путь не только преодоления дефицита 200-мм технологических линий и оборудования, но и снижения удельных издержек за счет эффекта увеличения масштаба производства. Наибольшее применение SiC-приборы найдут в автомобильной

электронике – как за счет повышения общего уровня электрификации ТС, так и за счет перехода на электромобили.

## ЛИТЕРАТУРА

1. **Cherkasov A.** Power Semiconductors Market Outlook // Marketing-Psycho. November 21. 2020. <https://www.marketing-psycho.com/power-semiconductors-market-outlook/>
2. **Manners D.** MOSFETs to have 3.8% CAGR 2020-26 // Electronics Weekly. 30th August. 2021. <https://www.electronicsexpress.com/news/business/778842-2021-08/>
3. **Manners D.** 7.5% CAGR 2020–26 for IGBTs // Electronics Weekly. 23rd August 2021. <https://www.electronicsexpress.com/news/business/7-5-cagr-2020-26-igbts-2021-08/>
4. **Manners D.** 38% and 78% CAGRs forecast for SiC and GaN // Electronics Weekly. 6th September. 2021. <https://www.electronicsexpress.com/news/business/38-78-cagrs-forecast-sic-gan-2021-09/>
5. **Dogmus E., Rosina M., Villamor A., Allouche A.** Electric Vehicles: Silicon Carbide (SiC) era has just begun // i-Micronews. February 22. 2021. <https://www.i-micronews.com/electric-vehicles-silicon-carbide-sic-era-has-just-begun/>



# ЭРКОН

Научно-производственное объединение

Акционерное общество

ПРОИЗВОДСТВО, РАЗРАБОТКА  
И ПОСТАВКА ПОСТОЯННЫХ  
РЕЗИСТОРОВ, АТТЕНУАТОРОВ  
И ЧИП-ИНДУКТИВНОСТЕЙ

- Современная производственная база
- Высокое качество
- Индивидуальный подход к потребителю

НОВИНКИ

Аттенуаторы (поглотители) ПР1-25 500 Вт и 150 Вт (от 3 до 40 дБ)  
Резистор сверхвысокочастотный Р1-160 (до 40 ГГц)  
Мощные резисторы Р1-170 (от 10 до 1000 Вт)

603104, г. Нижний Новгород, ул. Нартова, д. 6.  
тел.: 8 (831) 202 - 25 - 52, доб. 2-61 (группа развития)  
8 (831) 202 - 25 - 52 (отдел продаж)  
E-mail: [info@erkon-nn.ru](mailto:info@erkon-nn.ru)  
[www.erkon-nn.ru](http://www.erkon-nn.ru)

