

сканирующая система гарантирует высокую точность измерений (до 30 мкм), позволяет значительно повысить автоматизацию измерений и обеспечить выявление брака на ранних стадиях производства.

Одновременное повышение точности, а также скорости процесса контроля позволяет увеличить количество проверяемых изделий в партии. Кроме того, такая технология позволяет вести контроль изделий между операциями, т.к. установленная в оборудовании ПУ просчитывает характеристики получаемой детали на всех стадиях производства. Все это положительно влияет на выявление брака на производстве, а также на трудоемкость персонала.

Минусы данной системы схожи с минусами автоматизированных станков, а именно:

- 1) потребность в квалифицированном обслуживающем персонале;
- 2) чувствительность к внешним факторам (т.е. влажность и запыленность воздуха и т.д.);
- 3) высокая стоимость оборудования.

**Заключение.** Опираясь на вышеперечисленные способы, мы получим производство с минимальным участием человека в процессе изготовления изделия с высоким качеством выпускаемой продукции. Однако необходимо помнить о высокой стоимости внедрения этих способов, так как в текущих реалиях это довольно трудно. Это значит, что модернизацию необходимо производить поэтапно, чтобы обеспечить требуемое качество на определенных этапах производственного процесса.

#### Список использованных источников

1. Жолобов, А.А. Технология автоматизированного производства. Учебник для ВУЗов. – Мн.: Дизайн ПРО, 2000. – 624 с.
2. Технология машиностроения: учебное пособие / М.Ф. Пашкевич. [и др.]; под общ. ред. М.Ф. Пашкевича. Минск: Новое издание, 2008. – 478 с.
3. Акулич, Н.В. Технология машиностроения: пособие / Н. В. Акулич. – Минск: РИПО, 2013. – 395 с.

УДК 62-503.56

### ПЕРЕДОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В СОЗДАНИИ СИЛОВЫХ МОДУЛЕЙ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДАМИ

Павловский Р.В., Горюнова В.А.

Филиал БНТУ «Минский государственный политехнический колледж»

**Abstract.** *The article deals with improvement of the electrical appliances efficiency with the help of fifth-generation IGBT-modules Trench-FieldStop. The article draws our attention to features of advanced technology combination in IGBT-modules creation and their use in modern energy converter.*

**Аннотация.** *В данной работе рассмотрены вопросы повышения эффективности управления электроприводами с помощью IGBT-модулей пятого поколения Trench-FieldStop. Показаны особенности сочетания передовых технологий создания IGBT-модулей и их применения в современных преобразователях энергии.*

Независимо от типа приводов, управление ими было бы затруднительно без использования современных полупроводниковых приборов. До появления мощных высокочастотных транзисторов управление двигателями осуществлялось с помощью электромагнитных реле, а регулировка мощности производилась реостатным методом, что очень негативно влияло на КПД системы, впрочем, как и на остальные технические характеристики. Только с появлением мощных IGBT-модулей и биполярных транзисторов в комбинации с микроконтроллерным управлением стало возможным прецизион-

ное управление основными параметрами движения: частотой вращения, скоростью подачи и точностью позиционирования. Применение современных силовых полупроводниковых приборов дало толчок к развитию систем автоматизированного управления станочными электроприводами и приводами роботов-манипуляторов [1].

Силовые модули на основе IGBT-транзисторов (биполярный транзистор с изолированным затвором) охватывают диапазон рабочих напряжений 600, 1200, 1700, 3300, 4500, 6500 В, а также токов от 50 до 3600 А. Кристаллы модулей изготовлены по самым передовым технологиям, позволяющим получить максимальную температуру перехода +175°C [2].

Отличительной особенностью IGBT-модулей, производимых одной из лидирующих компаний мира Infineon, является уникальное сочетание трех передовых технологий [3]:

- IGBT пятого поколения, изготовленные по технологии Trench-FieldStop;
- корпуса с малым тепловым сопротивлением PrimePACK;
- технология .XT, увеличивающая надежность модуля.

Использование каждой из этих технологий по отдельности уже позволяет ощути-мо улучшить характеристики преобразователей, однако их сочетание взаимно усилило преимущества друг друга, что позволило компании Infineon в конечном итоге увеличить удельную мощность своих приборов как минимум на 25%, тем самым фактически открыв новую эпоху в силовой преобразовательной технике.

Технология Trench-FieldStop позволила примерно вдвое уменьшить толщину зоны дрейфа зарядов и, соответственно, уменьшить как величину падения напряжения между коллектором и эмиттером в открытом состоянии, так и улучшить частотные характеристики транзисторов за счет уменьшения количества заряда.

Использование для изготовления транзисторов Trench-FieldStop пластин кремния, толщина которых намного меньше толщины стандартных подложек, с одной стороны, усложнило технологию производства и увеличило себестоимость, с другой же – это было скомпенсировано улучшением практически всех остальных параметров.

В итоге Trench-FieldStop-IGBT отличаются малыми значениями статических и динамических потерь, теплового сопротивления, высокой плотностью тока и устойчивостью к циклическим тепловым нагрузкам.

Кроме этого, увеличенная толщина медной металлизации вывода эмиттера позволила увеличить тепловую емкость структуры и увеличить допустимое время работы на границе области безопасной работы (в режиме короткого замыкания) до 10 мкс.

Однако какие бы высокие характеристики ни были у транзистора, его работа зависит также от характеристик корпуса, который обеспечит защиту от условий окружающей среды. От конструкции и материала корпуса зависит скорость отвода тепла и, соответственно, температура кристаллов. Кроме этого, учитывая особенности работы мощных преобразователей, особое значение для этого узла модуля имеет стойкость к циклическим тепловым нагрузкам.

Основания корпусов PrimePACK выполнены из металломатричного композиционного материала Al-SiC на основе алюминиевого сплава, армированного частицами карбида кремния. Этот материал обладает высокой теплопроводностью (180-200 Вт/м·К) и возможностью регулировки коэффициента теплового расширения. Ключевыми особенностями корпусов PrimePACK является малая величина теплового сопротивления, в том числе и за счет размещения кристаллов полупроводниковых элементов ближе к точкам крепления подложки к теплоотводу, что позволяет эффективно отводить тепло от силовых элементов модуля [3].

Однако, как показывает практика, использование высокоэффективных транзисторов и передовых технологий корпусирования может оказаться недостаточным для получения высокой удельной мощности. Ведь силовые компоненты требуют качественного соединения как между собой, так и с терминалами модуля.

Технология .ХТ была тщательно продумана для обеспечения необходимого уровня надежности и максимального срока службы модуля в условиях циклических тепловых нагрузок. Использование технологии .ХТ практически полностью устраняет все недостатки, присущие традиционным технологиям изготовления модулей.

В первую очередь мягкие и текучие алюминиевые проводники для внутренних соединений были заменены на более термостабильные и надежные медные шины. Кстати, именно из-за необходимости соединения с медными шинами в IGBT Trench-FieldStop пятого поколения вывод эмиттера пришлось сделать медным. Как известно, медь имеет более высокую по сравнению с алюминием прочность на разрыв и температуру плавления, что делает ее более устойчивой к термомеханическим нагрузкам. Кроме этого, она имеет меньший коэффициент температурного расширения, что позволяет снизить величину внутренних механических напряжений в модуле при изменении температуры.

Медь также имеет меньшее удельное сопротивление по сравнению с алюминием, что в совокупности с использованием параллельного соединения нескольких медных шин, уменьшающих общую индуктивность, позволило увеличить максимальное значение тока внутри модуля. Однако, для надежного крепления полупроводниковых кристаллов к основе модуля пришлось разработать две новые технологии.

В первую очередь пайка с помощью мягких припоев была заменена на более высокотемпературную диффузную пайку с образованием интерметаллических соединений.

В случае, когда использование высоких температур при сборке модуля затруднительно, используется технология низкотемпературного (200-270°C) спекания микрочастиц серебра. В отличие от диффузной пайки, основным критерием качества которой является однородность и отсутствие пустот, качество спекания серебра напрямую зависит от пористости образовавшегося соединения.

Таким образом, технология .ХТ позволяет более надежно фиксировать кристаллы полупроводниковых элементов на основании модуля, что в совокупности с другими технологиями, позволяет повысить рабочую температуру кристалла и, соответственно, удельную мощность используемых модулей.

**Выводы.** Благодаря новым технологиям создания IGBT-модулей, имеющим высокий КПД, стало возможным их использование в более сложных системах управления электроприводами. Можно выделить основные преимущества передовых технологий при создании IGBT-модулей:

- технология Trench-FieldStop позволила примерно вдвое уменьшить толщину зоны дрейфа зарядов и, соответственно, уменьшить как величину падения напряжения между коллектором и эмиттером в открытом состоянии, так и улучшить частотные характеристики транзисторов за счет уменьшения количества заряда;

- технология PrimePACK позволила добиться малого теплового сопротивления корпуса;

- технология .ХТ позволила более надежно фиксировать кристаллы полупроводниковых элементов на основании модуля.

#### Список использованных источников

1. Compel [Электронный ресурс]. – Электронные данные. – Режим доступа: <https://www.compel.ru/lib/94855>.

2. Efo-power [Электронный ресурс]. – Электронные данные. – Режим доступа: <http://www.efo-power.ru/products/?l3=17>.

3. Compel [Электронный ресурс]. – Электронные данные. – Режим доступа: <https://www.compel.ru/lib/96417>.