

# БАЗОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ СИЛОВОЙ ЭЛЕКТРОТЕХНИКИ

---

ПОДГОТОВИЛ СЕДИН ДМИТРИЙ, ГРУППА М-2045



# СИЛОВАЯ ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

---

Силовая электроника — область электроники, связанная с преобразованием электрической энергии, управлением ей или её переключением без управления (включением и отключением). При этом различие силовой и слаботочной электроники не в силе тока или мощности устройства, а в назначении.

Радиовещательный передатчик может быть в тысячи раз мощнее электропривода станка. Задача слаботочной техники — точно воспроизвести на приемном конце форму сигнала. Потери энергии при этом интересуют во вторую очередь. В случае с силовой техникой в первую очередь ставится задача уменьшения потери энергии при передаче.

# ТЕХНОЛОГИИ СИЛОВОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ: ТЕКУЩЕЕ СОСТОЯНИЕ

---

Разработка устройств с большой удельной мощностью, таких как современные транспортные приводы и преобразователи энергетических станций, требует применения силовых модулей, отличающихся высокой надежностью и уникальными электрическими и тепловыми характеристиками. Решение этих задач невозможно без внедрения новых полупроводниковых материалов. В частности, для повышения плотности мощности и расширения температурного диапазона необходимо полностью исключить паяные и сварные соединения.



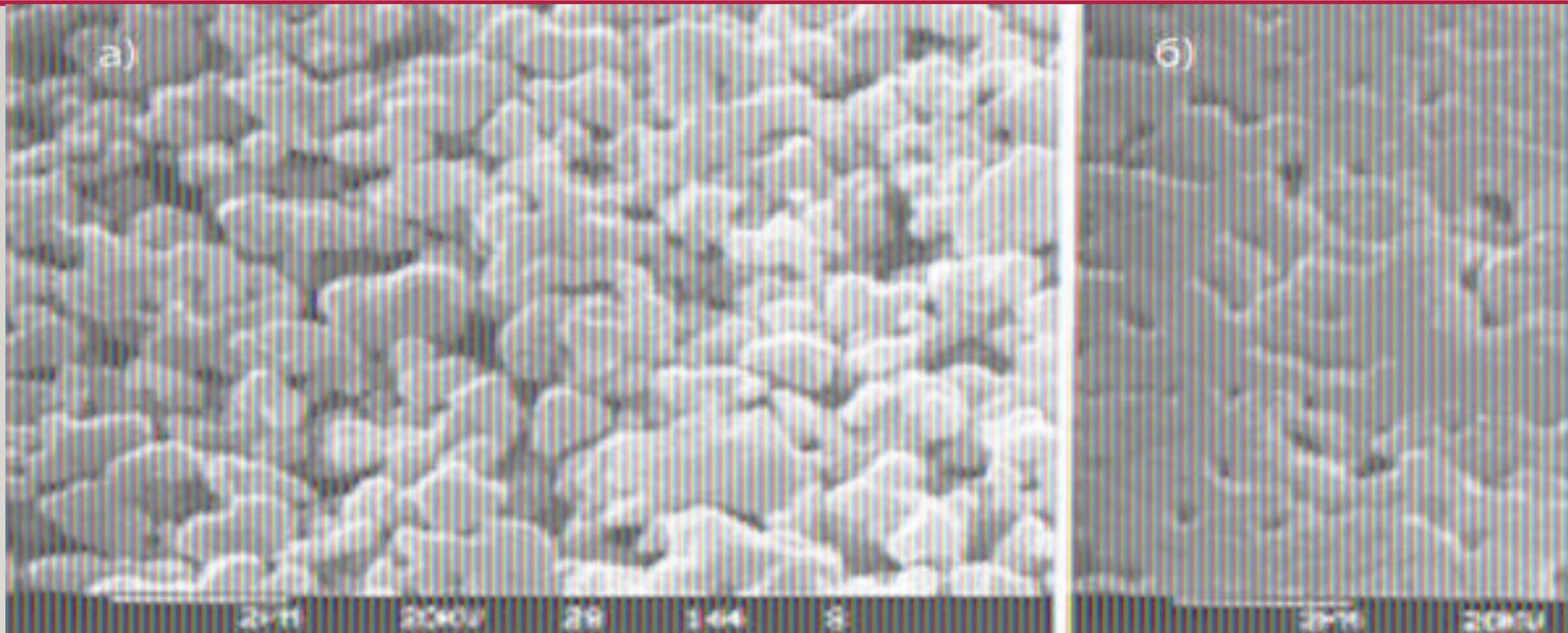
# ДИФФУЗИОННОЕ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОЕ СПЕКАНИЕ

---

Технология спекания серебра используется для установки полупроводниковых чипов на изолирующие подложки с 1994 г. Хорошие электромеханические свойства и высокая надежность серебряных соединений были известны и раньше, в течение многих лет эта тема исследовалась и обсуждалась на многочисленных международных конференциях. Однако широкому распространению данной технологии препятствовала необходимость использования специального оборудования и низкая пригодность для массового промышленного производства из-за высокой температуры плавления серебра.



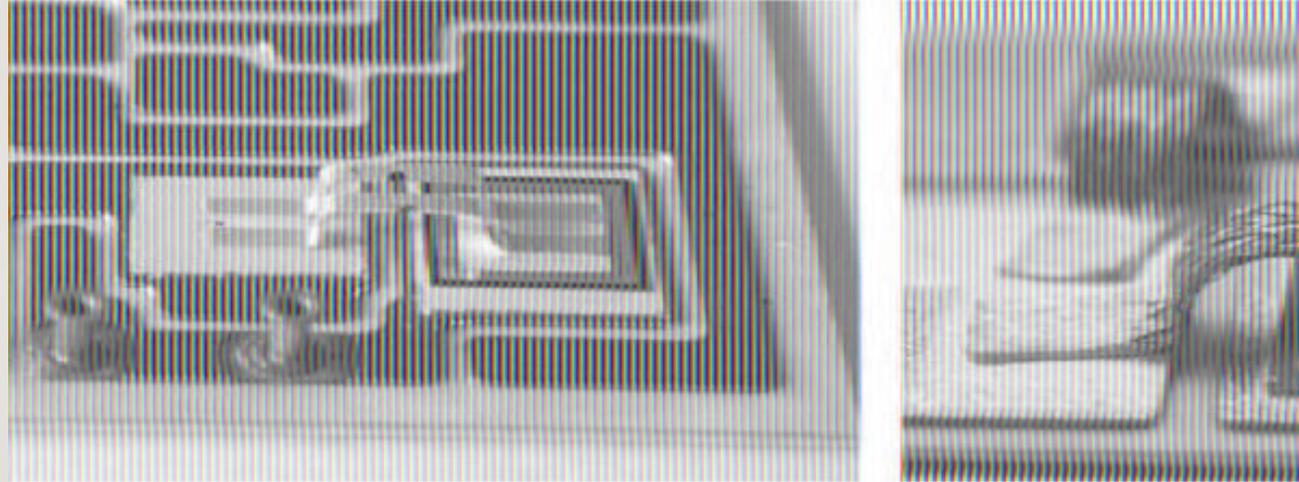
# ДИФФУЗИОННОЕ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОЕ СПЕКАНИЕ



до процесса спекания

после процесса спекания

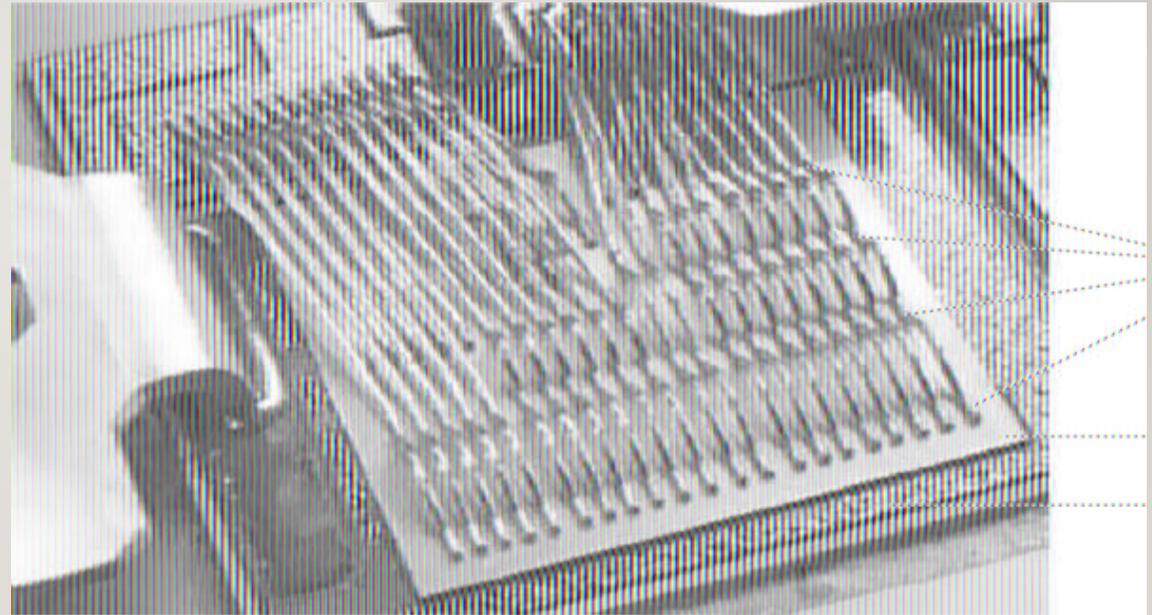
Технология спекания впервые была использована компанией SEMIKRON для установки чипов на изолирующую подложку DBC (Direct Bonded Copper) в модулях SKiM 63/93. Эти компоненты, разработанные для применения в приводах электрических и гибридных транспортных средств, стали первыми в мире силовыми ключами без единого паяного соединения. Диффузионное спекание позволяет с успехом решить проблему накопления усталости в соединительном слое большой площади между базовой платой и изолирующей DBC-подложкой, его также можно использовать для замены сварки при подключении выводов кристаллов



# УЛЬТРАЗВУКОВАЯ СВАРКА ПРОВОДНИКОВ

---

Для подключения выводов кристаллов к токонесущим шинам из меди, алюминия или золота в силовых модулях традиционно используется ультразвуковая «холодная» сварка алюминиевых проводников (диаметром 100–500 мкм). Этот технологический процесс происходит при комнатной температуре.



# ТЕХНОЛОГИЯ ПРИЖИМНОГО СОЕДИНЕНИЯ

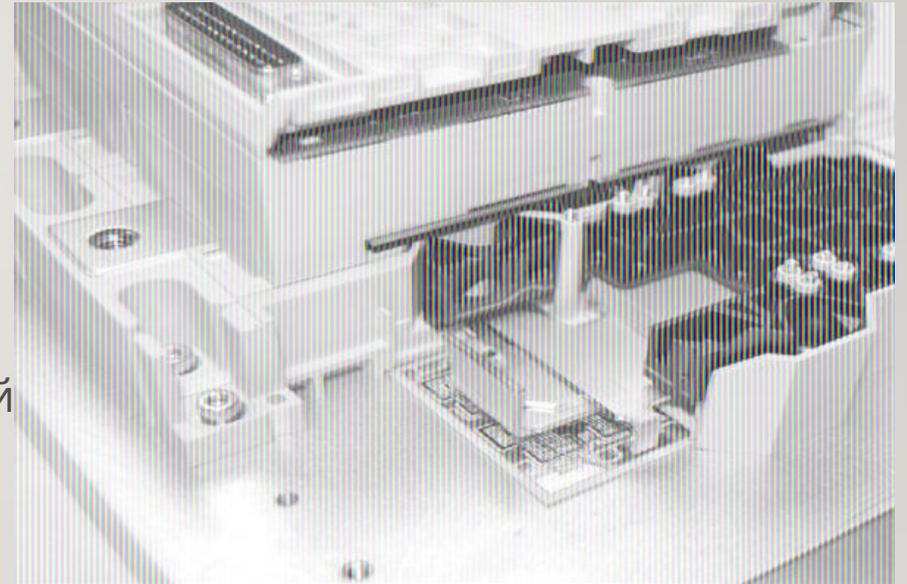
---

В отличие от диффузионного спекания и ультразвуковой сварки проводников, прижимное соединение позволяет обеспечить электрический и тепловой контакт без формирования жесткого связывающего слоя. В результате «контактные» партнеры могут перемещаться относительно друг друга в некоторых пределах, не теряя связь. Благодаря этому резко снижается термомеханическое напряжение, возникающее в «металлургическом» слое при термоциклировании из-за разницы коэффициентов теплового расширения. Технология прижима исключает развитие усталостных процессов, свойственных паяным и сварным соединениям, что гарантирует его высокую надежность и устойчивость к механическим и климатическим воздействиям.



# ТЕХНОЛОГИЯ SKiIP

Технология прижимного соединения SKiIP разработана компанией SEMIKRON для повышения эффективности, долговечности и надежности силовых модулей различных классов мощности, работающих в условиях циклического изменения нагрузки. Главная особенность концепции SKiIP состоит в устранении паяных соединений базовой платы, DBC-подложки и силовых терминалов. С этой целью из состава модуля устранена медная база, а изолирующая подложка с чипами размещена непосредственно на теплоотводе. Для создания давления, необходимого для отвода тепла и обеспечения электрического контакта терминалов, используются специальные элементы корпуса.



Прижимное соединение DBC-платы, силовых и сигнальных выводов в модуле SKiIP 4го поколения

# ПРУЖИННЫЕ КОНТАКТЫ

---

С точки зрения контактных свойств, пружинные соединения имеют ряд преимуществ по сравнению с пайкой и прессовой посадкой:

- более эффективное использование площади печатной платы и упрощение ее трассировки благодаря отсутствию сквозных контактов;
- упрощение процесса автоматической сборки благодаря отсутствию компонентов с большими поверхностями и жесткими допусками на диаметры отверстий;
- высокая стойкость к термоциклированию благодаря отсутствию «металлургических» связей;
- высокая устойчивость к ударным и вибрационным воздействиям (нет накопления усталости в паяном слое);
- квазигерметичная контактная зона, предотвращающая возникновение коррозионных процессов.

# ЗАКЛЮЧЕНИЕ

---

С появлением каждого нового поколения силовых ключей происходит повышение рабочей температуры чипов. Современные кремниевые IGBT способны надежно функционировать при  $T_j$  до  $+175\text{ }^\circ\text{C}$ . Применение карбида кремния (SiC) позволяет еще больше расширить рамки температурного диапазона, однако для того, чтобы использовать все возможности SiC-технологии, требуется кардинально пересмотреть существующие методы корпусирования силовых ключей. Технология спекания, внедренная SEMIKRON, способна решить эту задачу и повысить рабочую температуру без снижения надежности. Температура плавления спеченного серебряного слоя составляет  $+961\text{ }^\circ\text{C}$ , что примерно на  $740\text{ }^\circ\text{C}$  выше, чем у припоев, используемых в промышленности в настоящее время. Многочисленные испытания модулей нового типа подтвердили, что спеченные соединения имеют чрезвычайно высокую стабильность характеристик и не подвержены эффекту старения