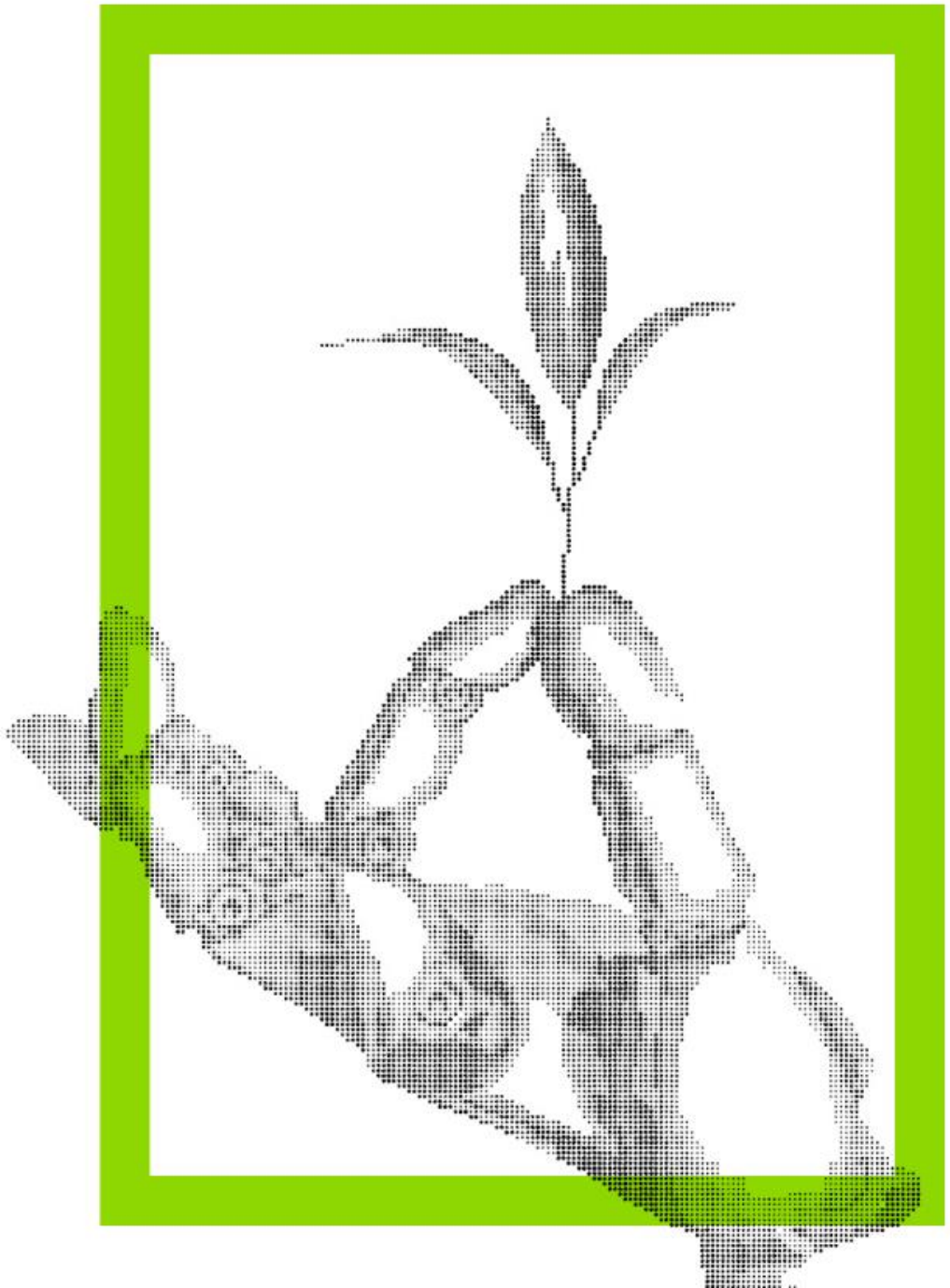
Будущее
создается

Гетерогенная интеграция – расширение возможностей для производства микроэлектроники



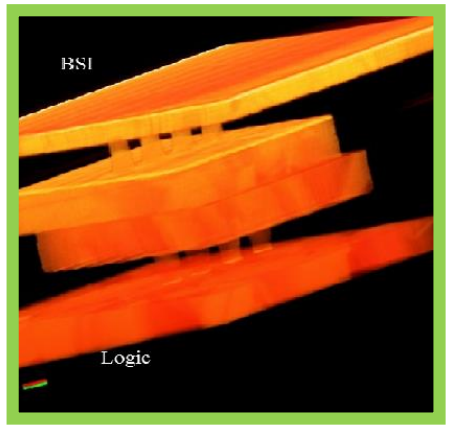
ostec
группа компаний

Что такое гетерогенная интеграция и почему эта технология так необходима микроэлектронике?

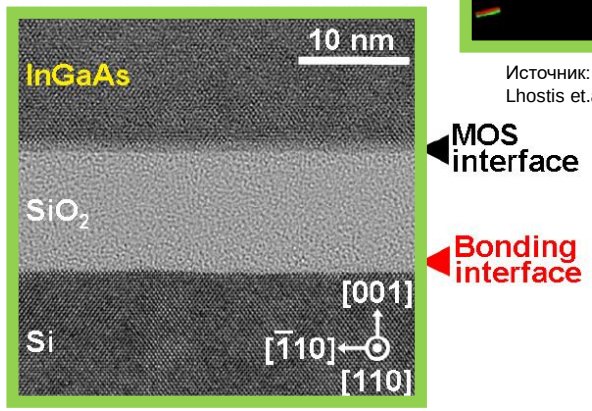
Гетерогенная интеграция – это процесс объединения отдельных изготовленных элементов (кристаллов) в одном с целью улучшения функциональности и рабочих характеристик.

Необходимость использования гетерогенной интеграции в микроэлектронном производстве:

- Выполнение закона Мура – развитие в «вертикальной» плоскости;
- Увеличение производительности микросхем;
- Расширение и объединение функциональности микросхем;
- Объединение элементов с разными технологическими процессами;
- Объединение элементов от разных производителей;
- Оптимизация габаритов;
- Оптимизация энергопотребления;
- Разрушение стереотипов создания многослойных эпитаксиальных структур.



Источник: ST / CEA LETI (Polis Project); Lhostis et.al.; Proc. IEEE ECTC, 2016



Источник: Takagi et al. VLSI Summit 2010

Эволюция гетерогенной интеграции

Чип-к-чипу (C2C)
- сложные и дорогие устройства
- низкая производительность

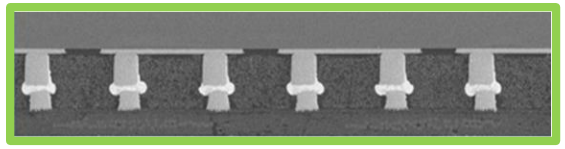
Чип-к-пластине (C2W)
- устройства средней сложности
- средняя производительность

Пластина-к-пластине (W2W)
- простые устройства
- высокая производительность

Гибридная интеграция C2W
- интеграция кремниевой технологии и составных полупроводников – сложные устройства
- высокая производительность

«Объединение» W2W
- различные материалы
- перенос слоев
- проводящий интерфейс без окисла

C2C

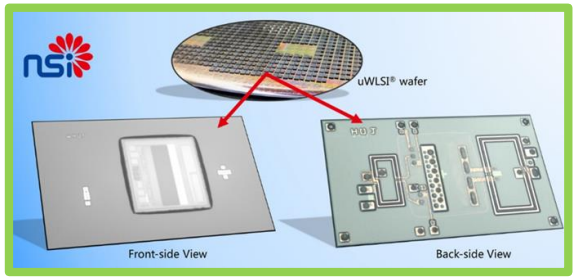


Источник: K&S

C2W

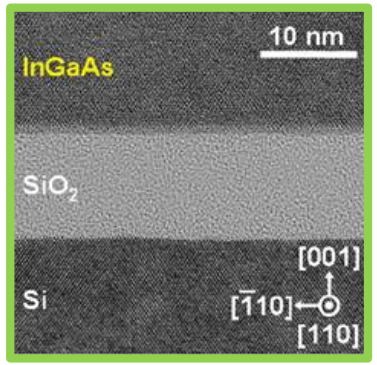
Источник: IMEC-inc

C2W



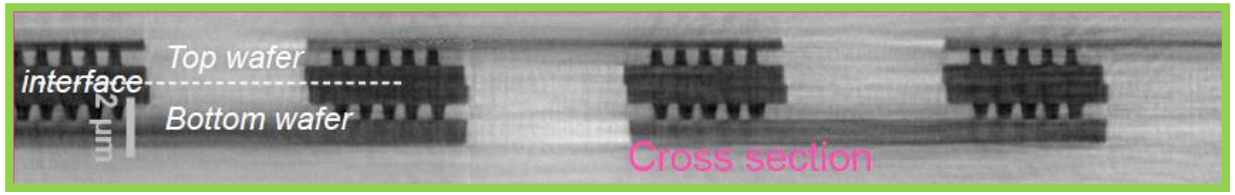
Источник: NSI

W2W



Источник: Takagi et al. VLSI Summit 2010

W2W



Источник: ST / CEA LETI (Polis Project); Lhostis et.al.; Proc. IEEE ECTC, 2016

ostec
группа компаний

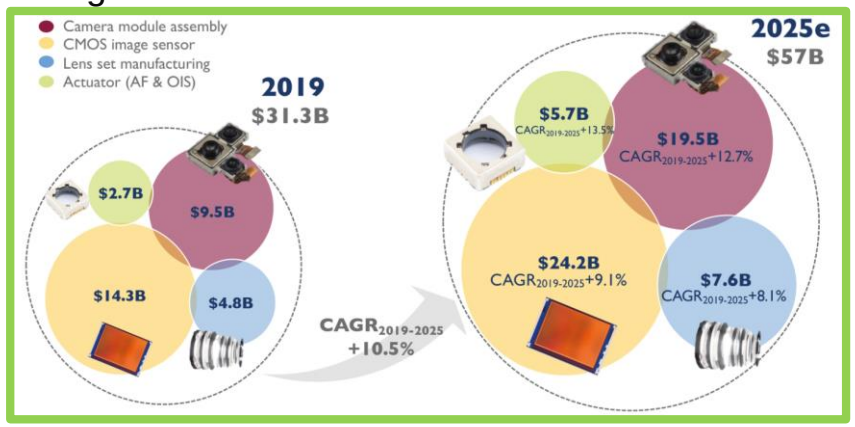
Будущее создается

Перспективы гетерогенной интеграции

IoT and Mass surveillance Market Trend

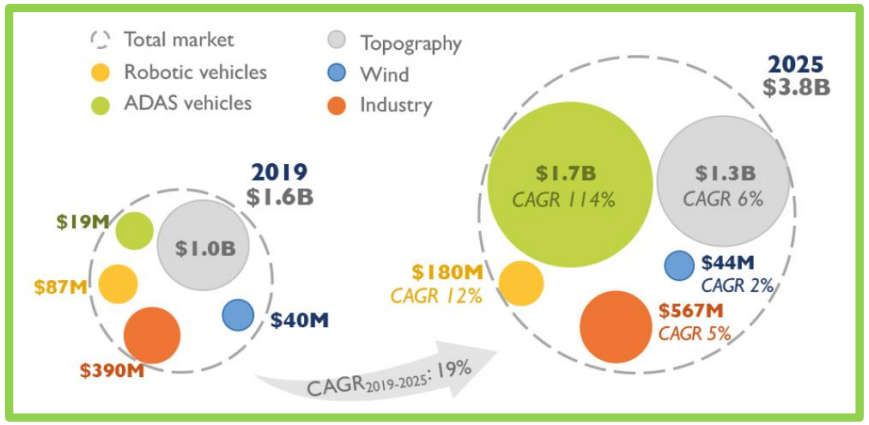
Источник: Yole

Image sensors Market Trend



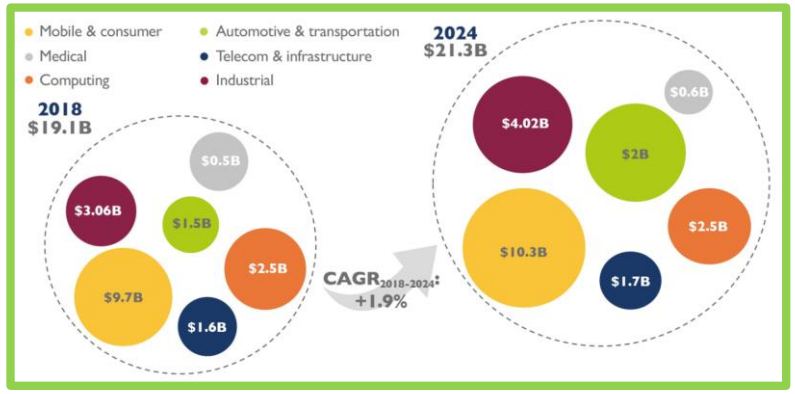
Источник: Yole

LiDAR Market Trend



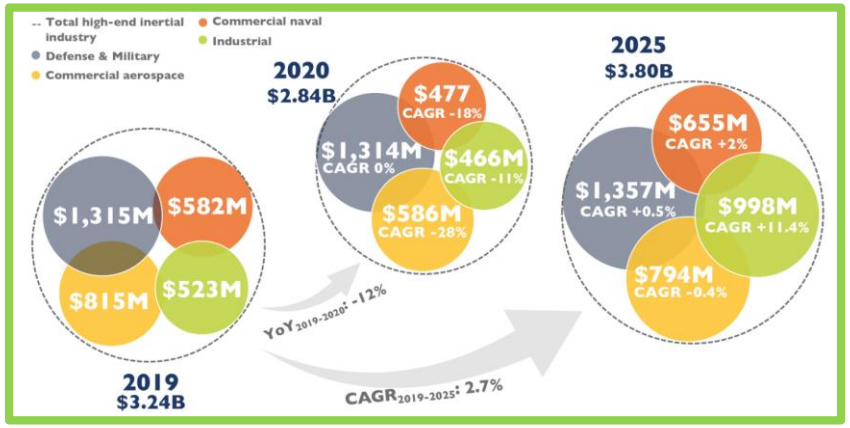
Источник: Yole

Power devices Market Trend



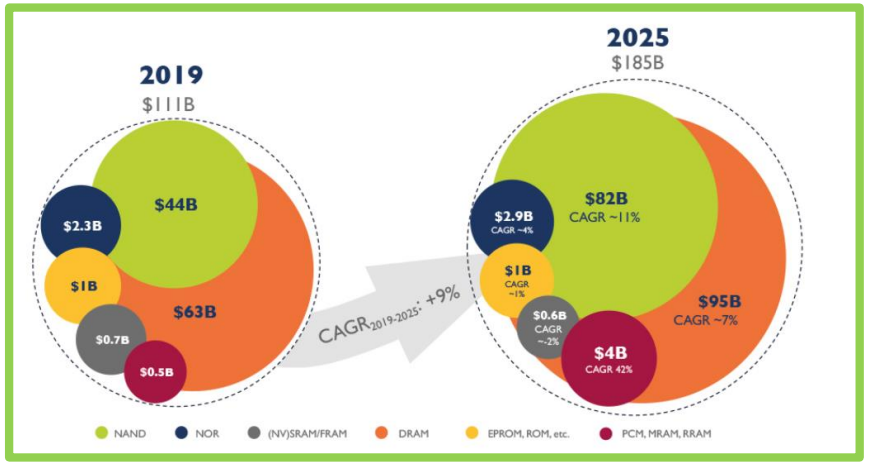
Источник: Yole

MEMS Market Trend



Источник: Yole

Memory Market Trend



Источник: Yole

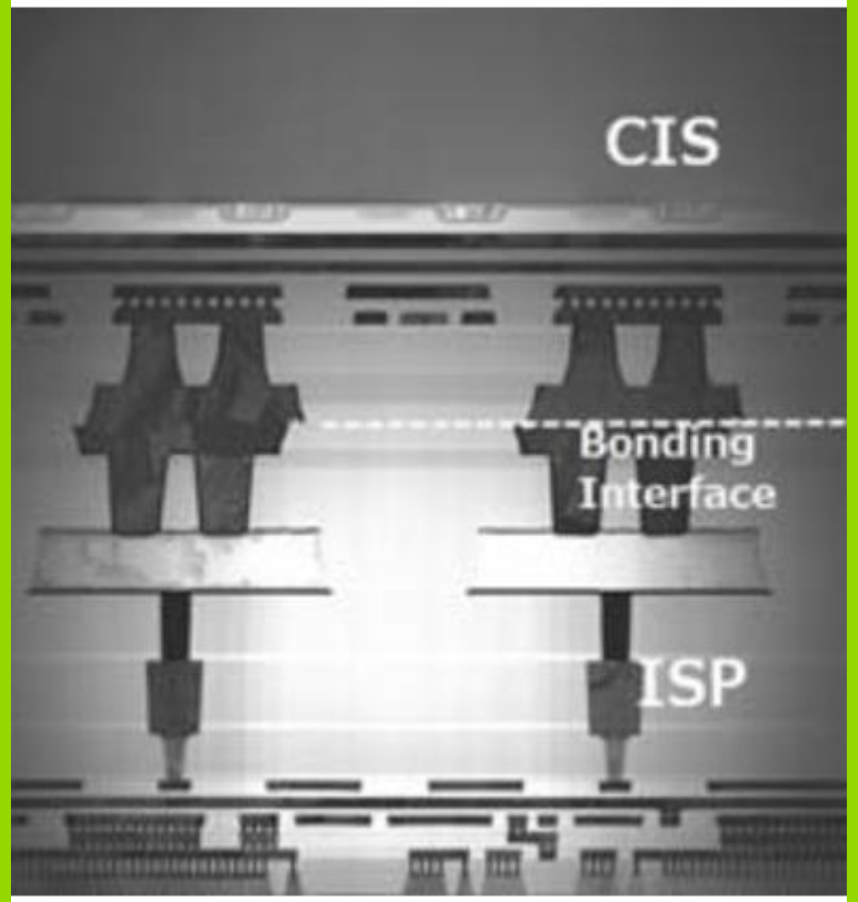
ostec
группа компаний

Будущее создается

Будущее создается

Примеры применения гетерогенной интеграции

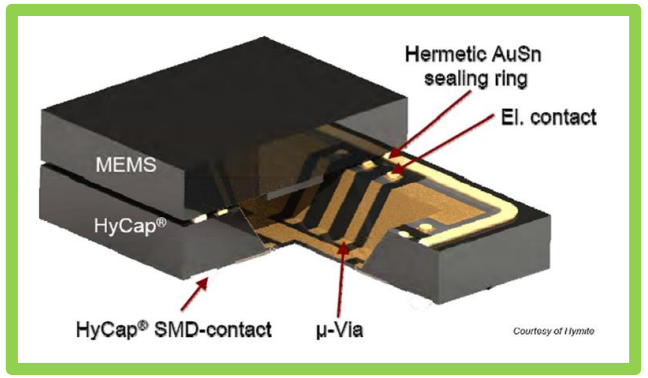
- Современное корпусирование и 3D-сборка
- Многоуровневая гибридная интеграция
- Альтернатива процессу эпитаксии
- Альтернатива процессу эпитаксии и интеграции C2W



Источник: Sony Semiconductor Manufacturing

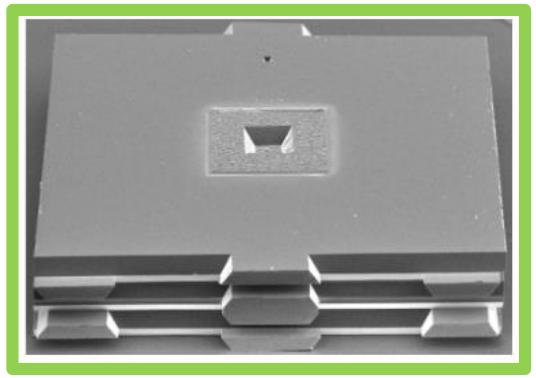
ostec
группа компаний

Современное корпусирование и 3D-сборка



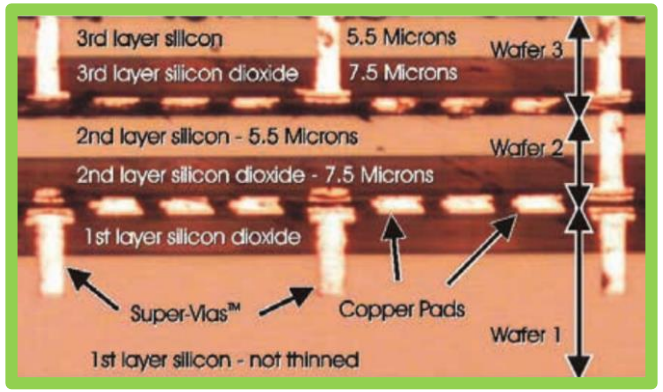
Капсулирование

Источник: Hymite



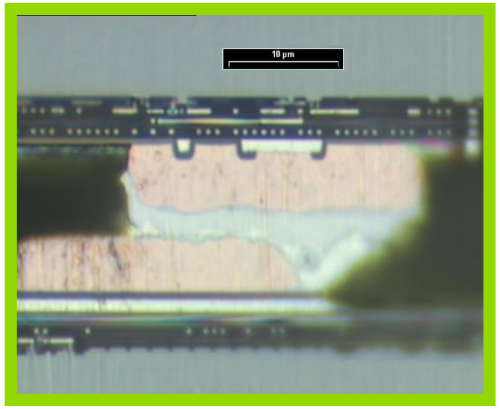
Датчик акселерометра (тройной стек)

Источник: Litef



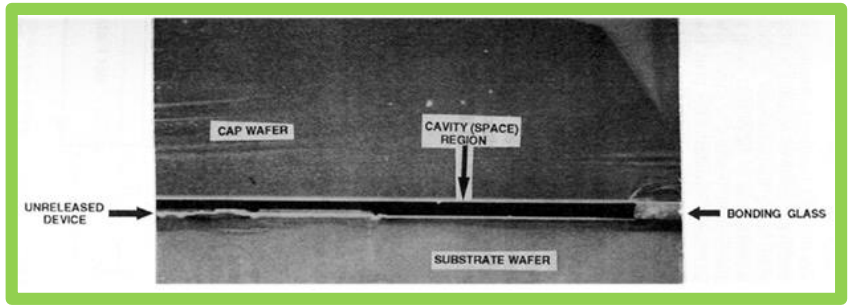
Переходные межсоединения

Источник: Tezzaron



Сварной интерфейс (память - контроллер)

Источник: INFINEON Technologies



SEM-поперечное сечение пакета на уровне пластины акселерометра Motorola

Источник: L. Ristic, Sensor Devices and Technology

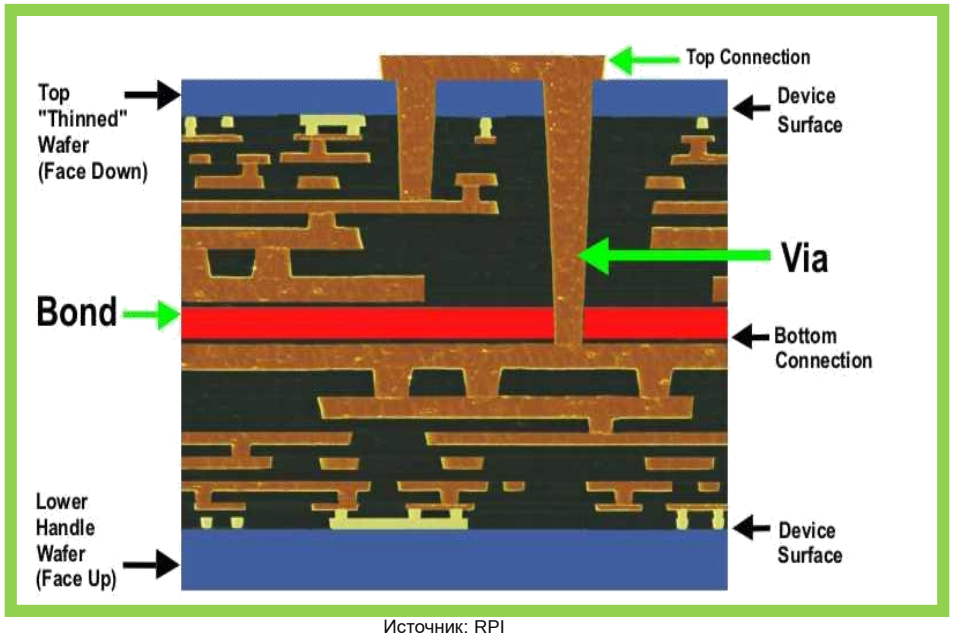
ostec
группа компаний

Будущее создается

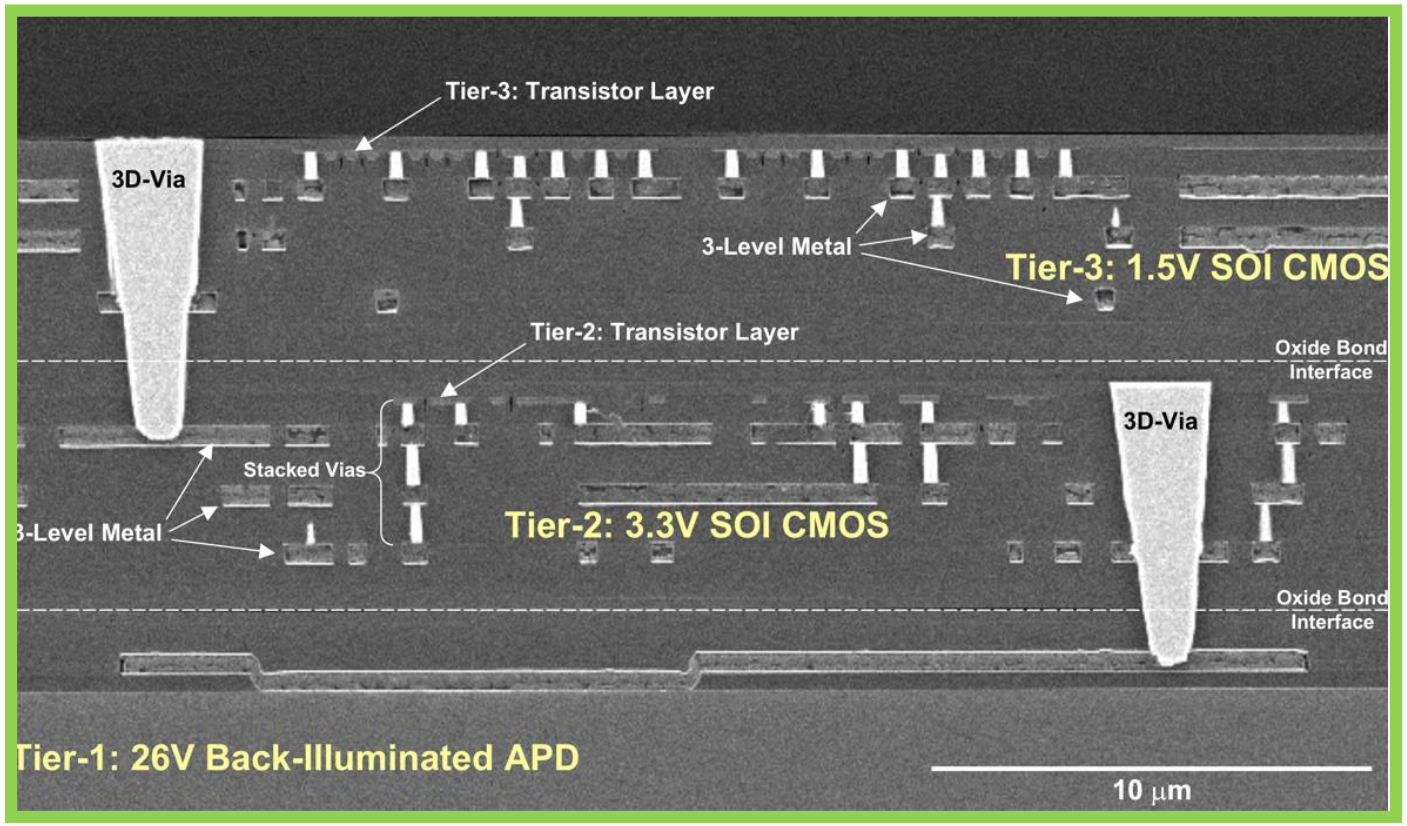
Современное корпусирование и 3D-сборка

Достигнутая точность совмещения R&D: ± 0.5 μm

Достигнутая точность совмещения в серийном производстве: ± 1.0 μm



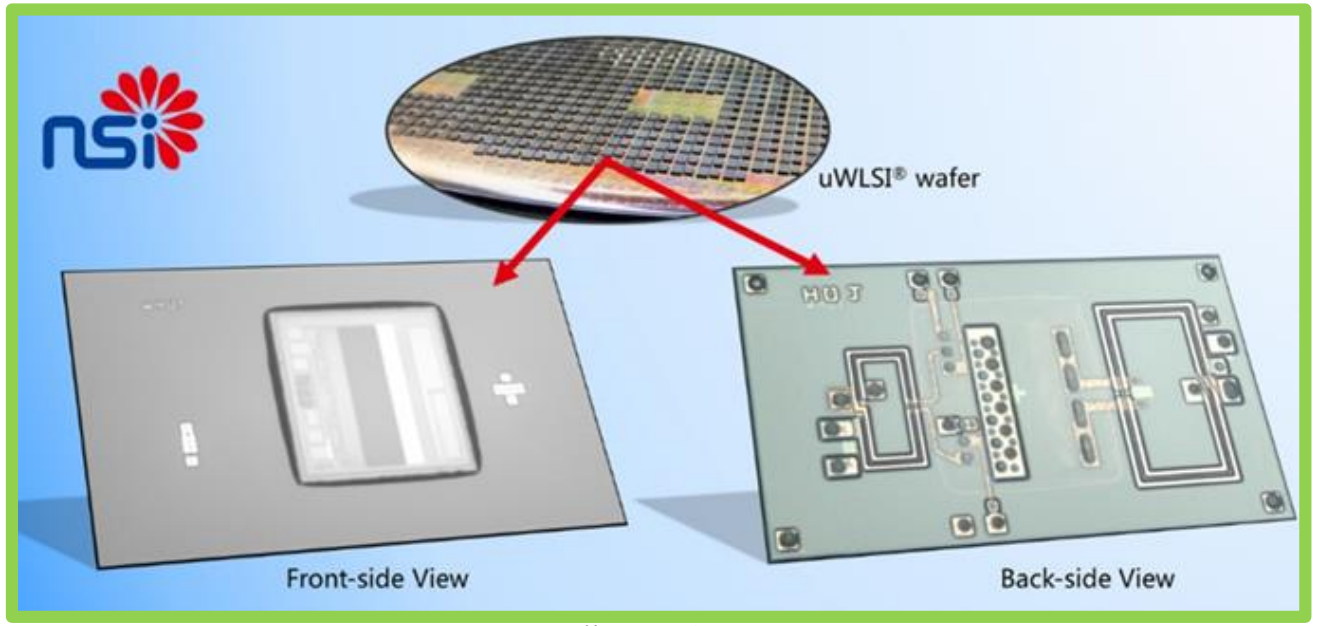
Источник: RPI



Источник: MIT Lincoln Laboratory

Многоуровневая гибридная интеграция

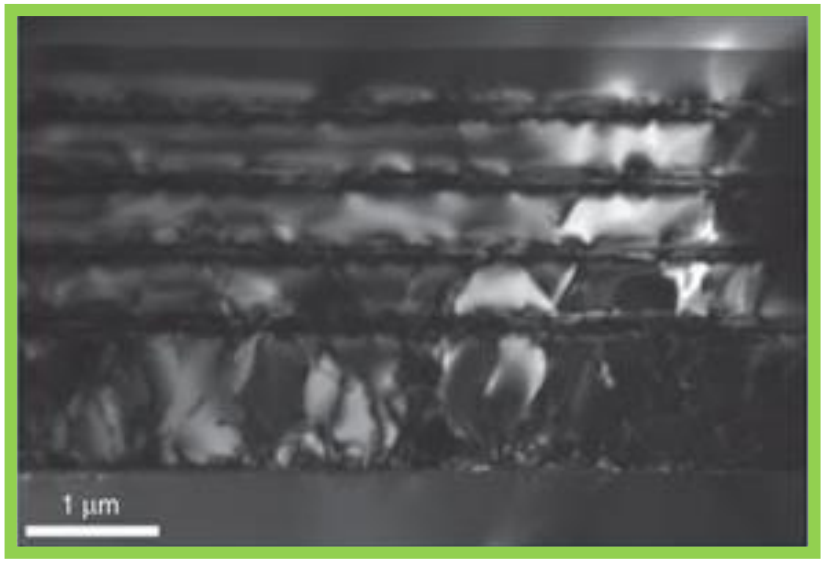
- РЧ-тракт систем связи 5G включает в себя несколько ключевых компонентов: усилители мощности, антенные переключатели, аттенюаторы, фазовращатели и фильтры;
- 3D-гетерогенная интеграция материалов высокой плотности с различными свойствами, GaAs и Si, эффективна для обеспечения улучшенных характеристик усиления, линейности и мощности для РЧ-тракта устройств 5G;
- Для гетерогенной интеграции, применяемой в оптических или высокочастотных изделиях, а также в изделиях СВЧ-диапазона, требуется C2W-интеграционная схема.



Источник: NSI

Альтернатива процессу эпитаксии

Эпитаксия



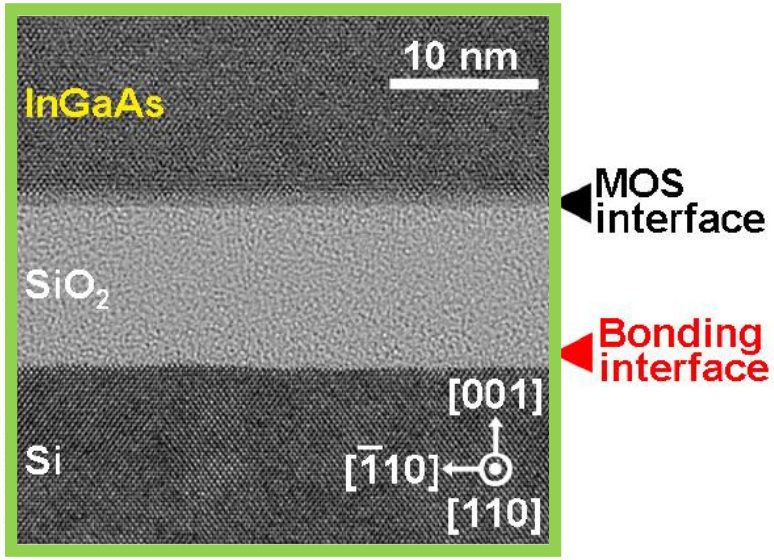
TEM-изображение структур InGaAs/GaAs, выращенных на Si-пластине

Источник: Huiyun Liu, University of Sheffield, Photonics Society, 2013

Особенности процесса

- Большая плотность неоднородностей;
- Высокие показатели прогиба и коробления.

Процесс бондинга



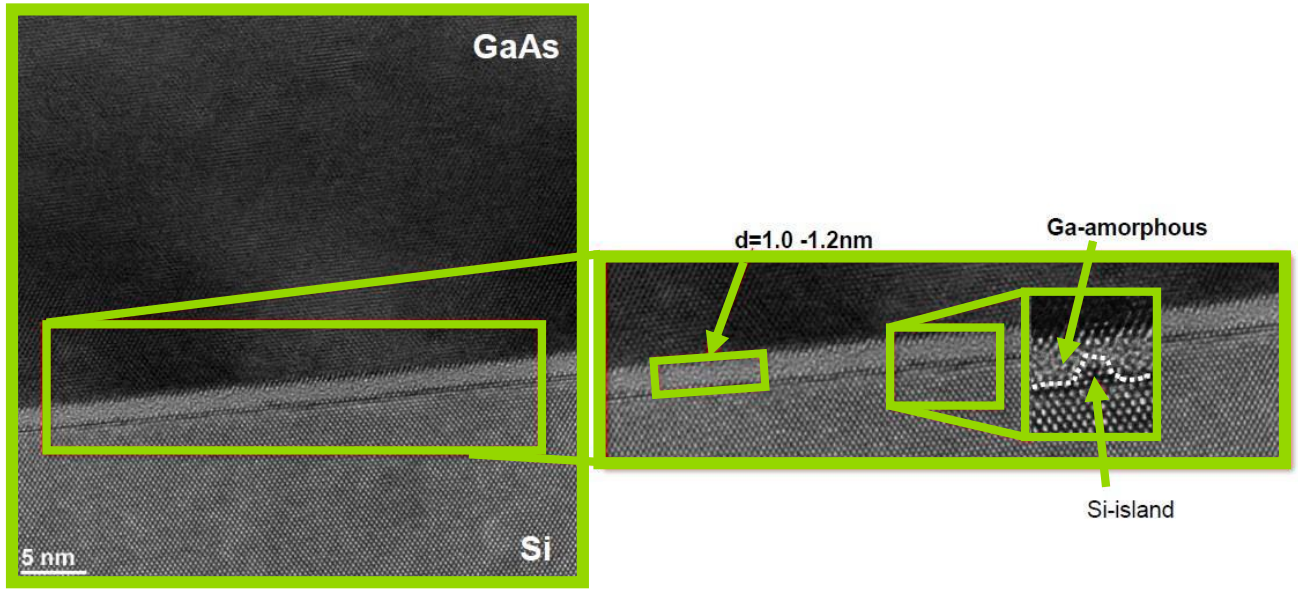
TEM-изображение канала InGaAs, срощенного с Si-пластиной

Источник: Takagi et al. VLSI Summit 2010

Особенности процесса

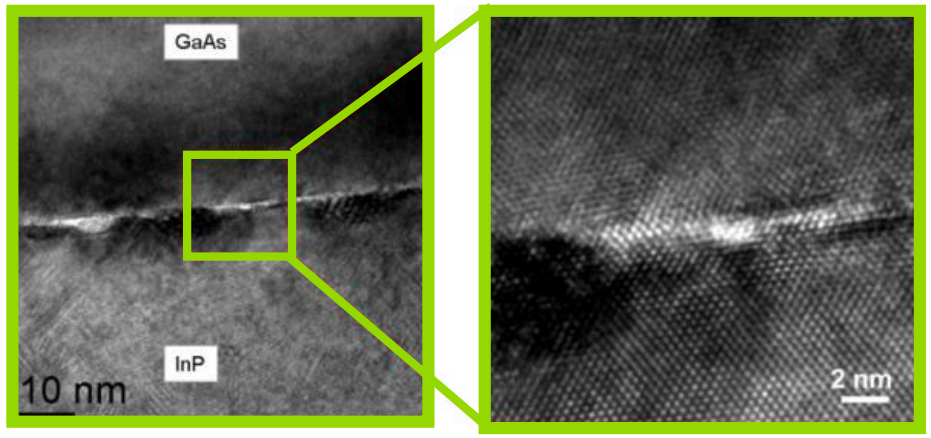
- Нет неоднородностей (только тонкий оксидный слой);
- Уменьшение прогиба и коробления.

Альтернатива процессу эпитаксии



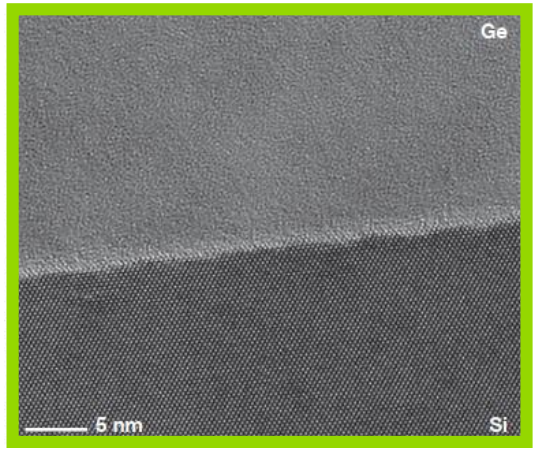
Источник: EVG

Si - GaAs



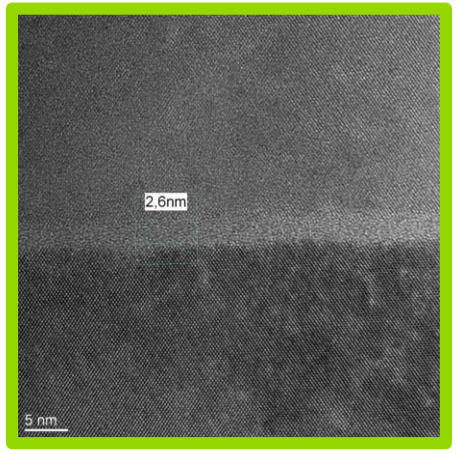
Источник: Fraunhofer ISE

GaAs - InP



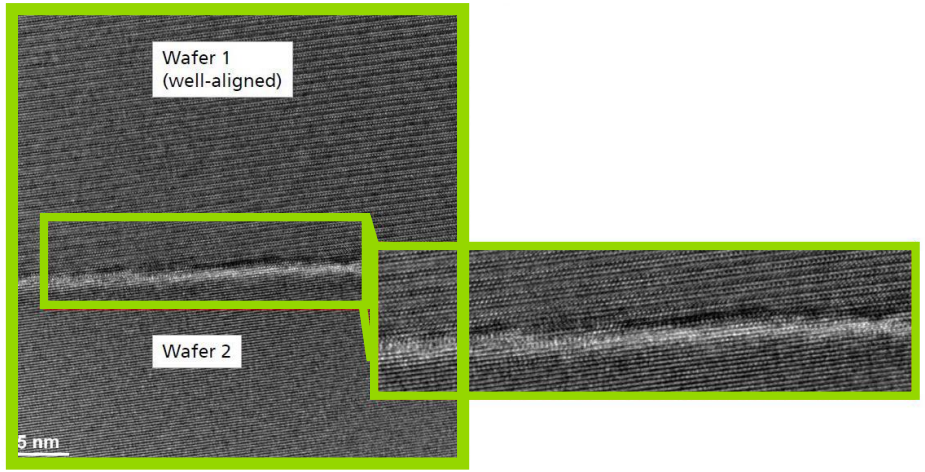
Источник: EVG

Si - Ge



Источник: EVG

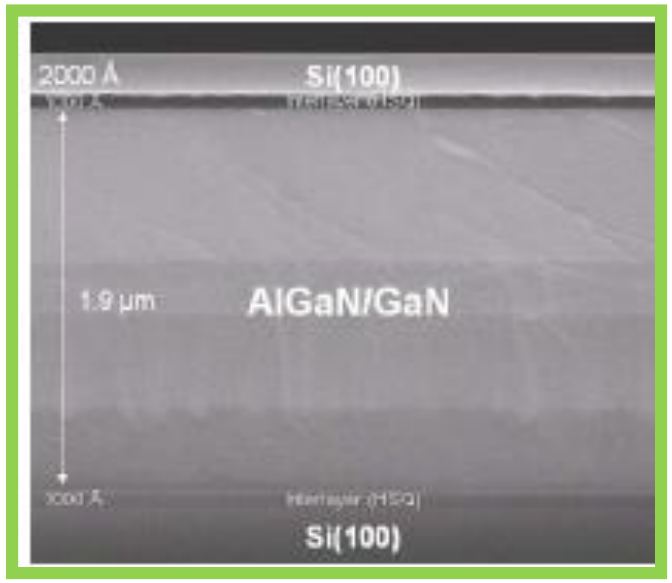
Si - Si



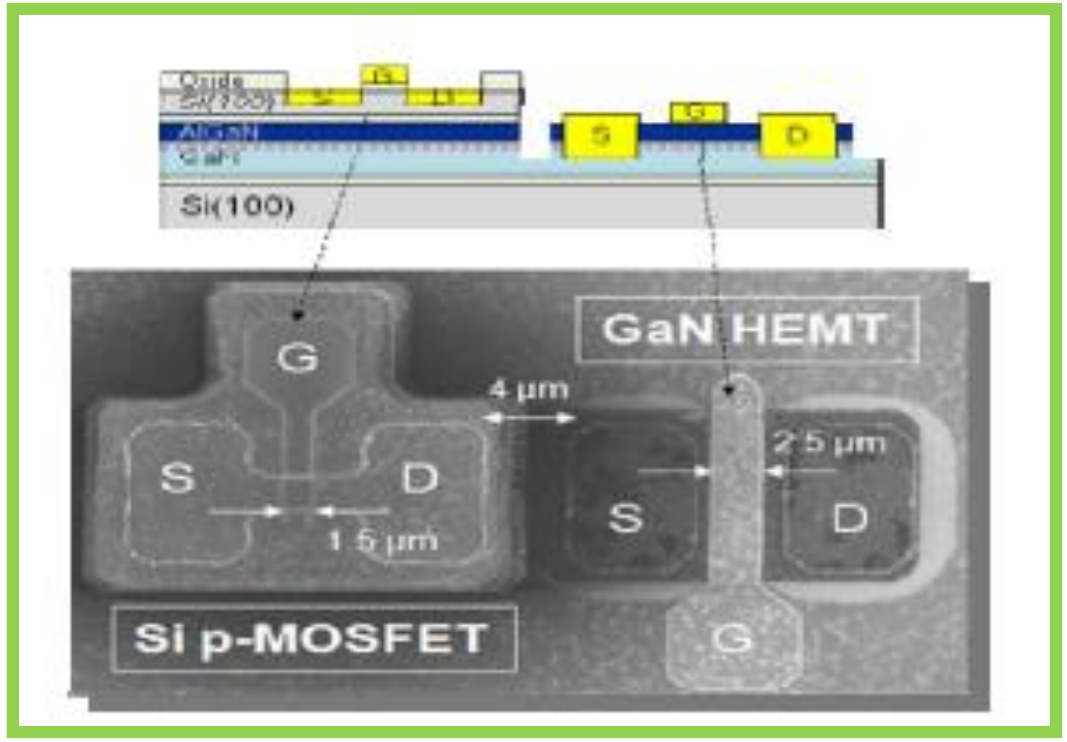
Источник: EVG

SiC - SiC

Альтернатива процессу эпитаксии и интеграции C2W



Источник: Massachusetts Institute of Technology



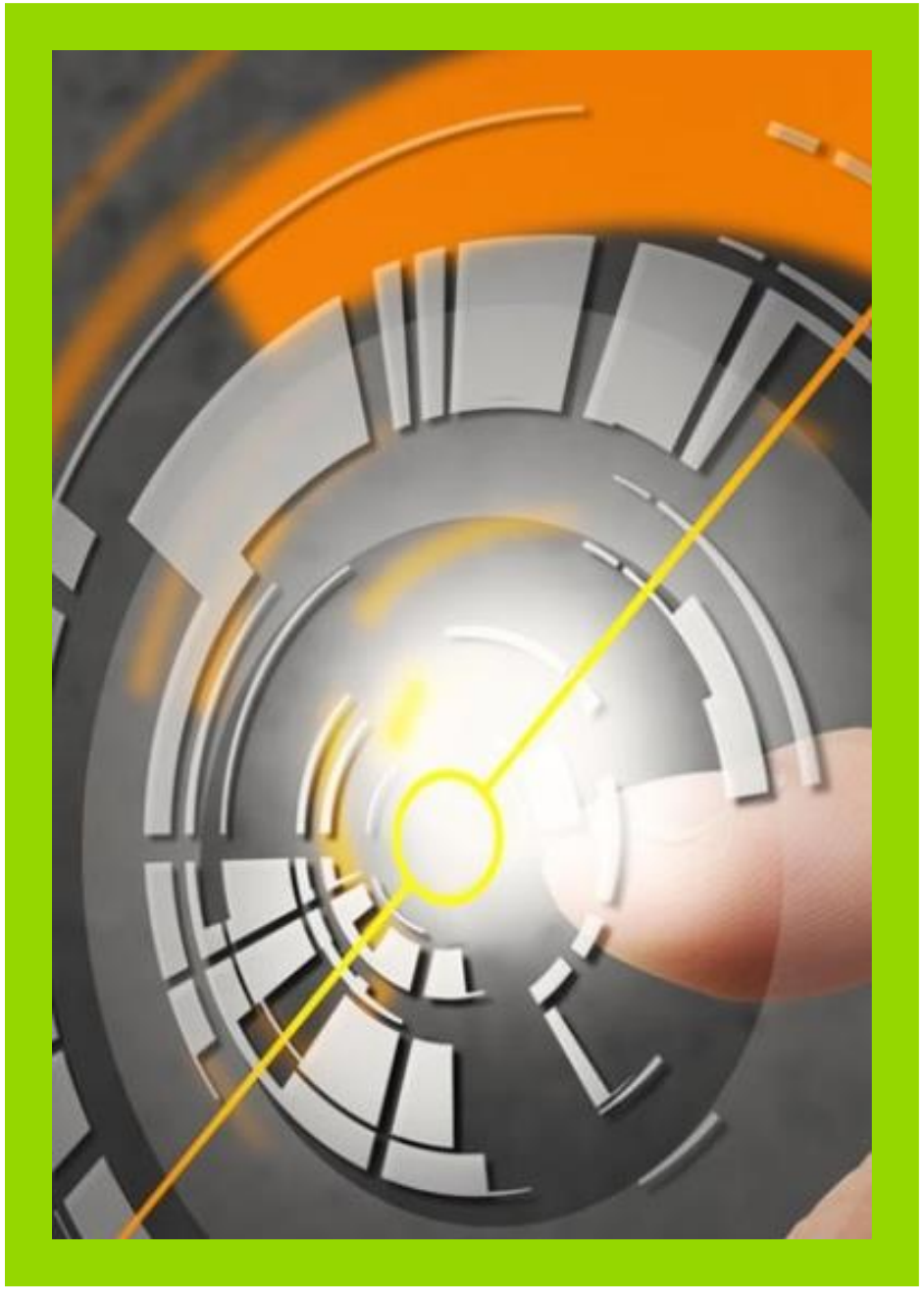
Источник: Massachusetts Institute of Technology

Приборы с вертикальной структурой на гибридных пластинах Si - GaN

Будущее
создается

Bonding – основная технология гетерогенной интеграции

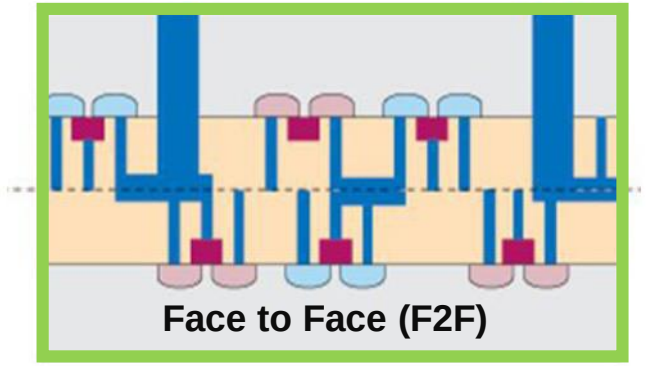
- Общее про Bonding
- Plasma activated bonding



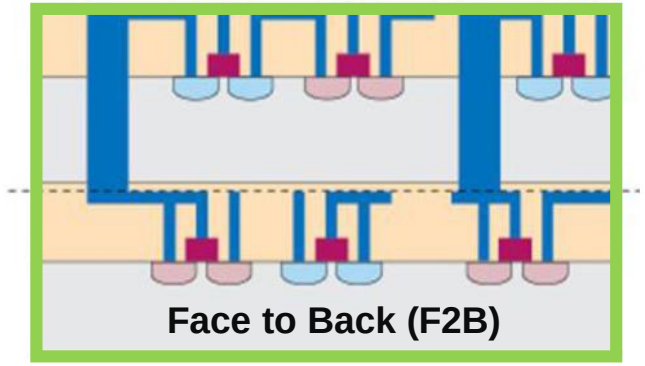
ostec
группа компаний

Общее про Bonding

- **Bonding (сварка пластин)** – это процесс соединения пластин, совместимый с промышленным производством. Сваренные стеки из пластин могут обрабатываться на стандартном оборудовании.
- **Различают несколько видов сварки пластин:** с применением различных адгезивных материалов, термокомпрессионная, высоковакуумная сварка, анодная, прямое сращивание.
- **Основной критерий в гетерогенной интеграции:** наличие электрического контакта в сварном интерфейсе и возможность сращивать различного рода материалы.



Face to Face (F2F)



Face to Back (F2B)

EVG 520IS

EVG Bondscale

Plasma activated bonding – Бондинг с активацией поверхности низкотемпературной плазмой

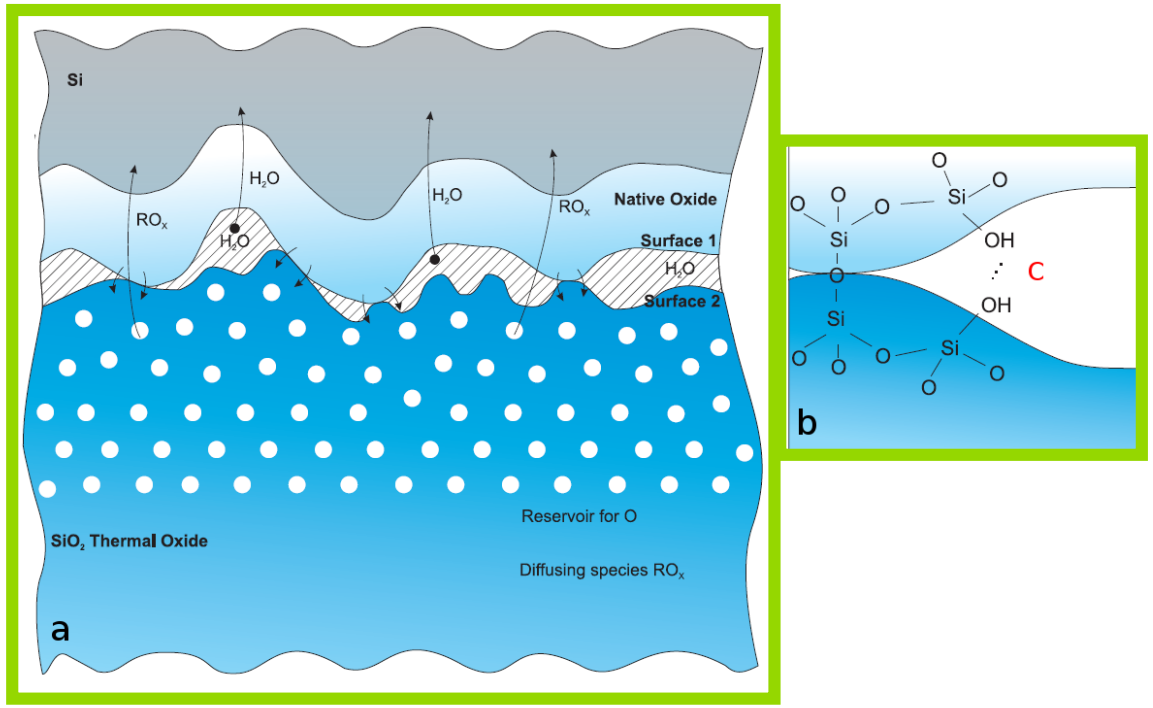
Молекулярный и гибридный бондинг, или процесс прямого сращивания

Особенности процесса молекулярного бондинга

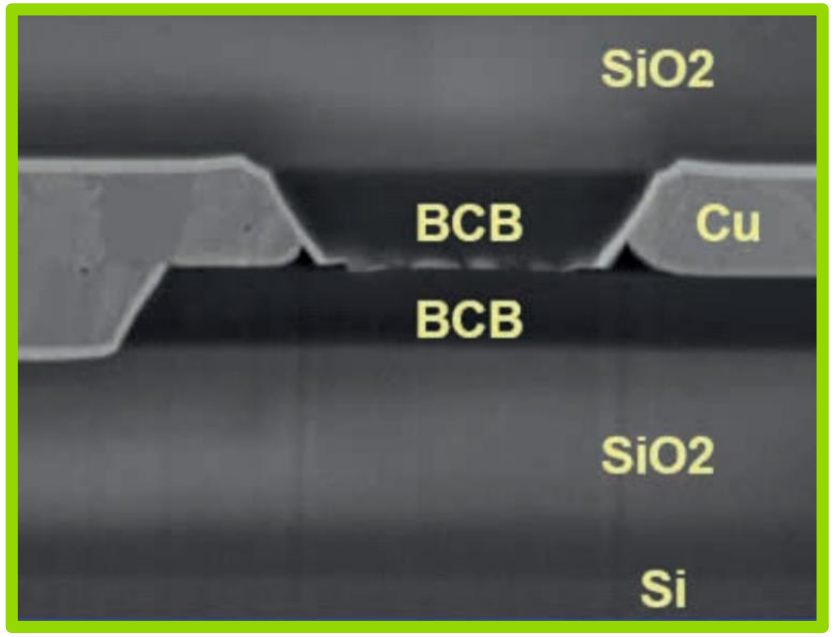
- Процесс прямого сращивания позволяет получить постоянное соединение диэлектрических слоев, что крайне важно при производстве сенсоров изображения на основе КМОП-структур;
- Процесс происходит за счет водородных мостиковых связей при комнатной температуре и нормальном давлении;
- Далее следует отжиг структуры, на котором низкоэнергетические водородные мостиковые связи превращаются в ковалентные связи. Точность совмещения менее 0,1 мкм позволяет использовать для 3D-интеграции микросхем.

Особенности процесса гибридного бондинга

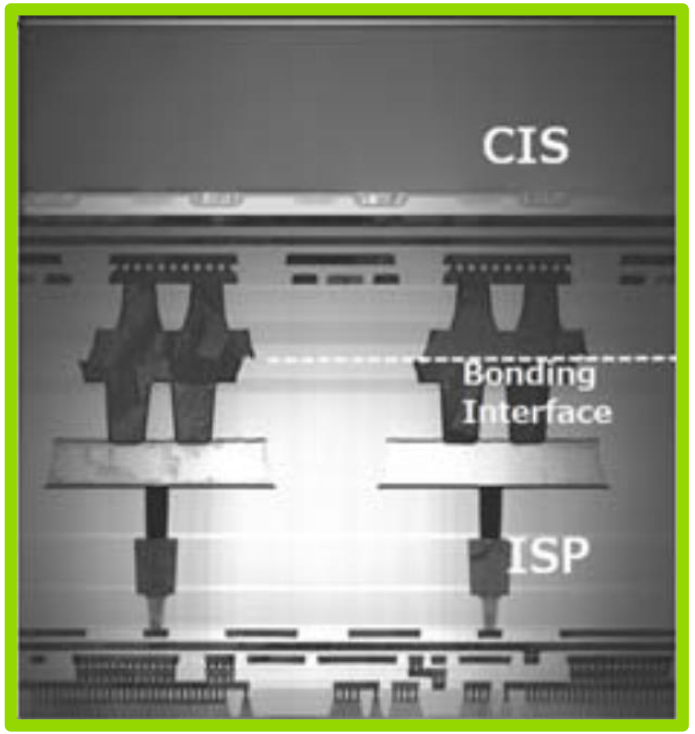
- Гибридный бондинг - это разновидность молекулярного бондинга;
- Основа процесса современной 3D-интеграции;
- Кроме диэлектрических слоев участвуют медные контактные площадки (например, при соединении пластин лицом-к-лицу);
- Параллельный процесс сращивания медных площадок и диэлектрических слоев.



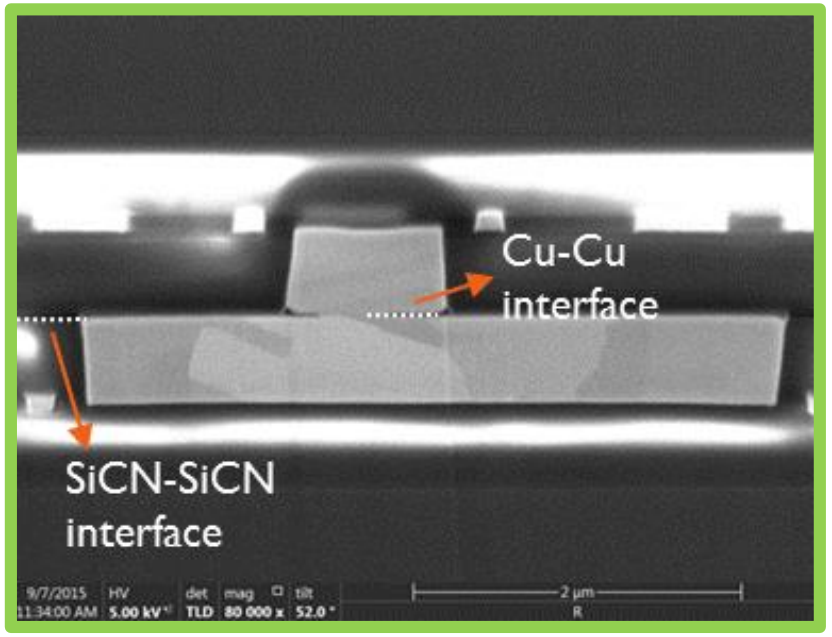
Plasma activated bonding – Бондинг с активацией поверхности низкотемпературной плазмой



Источник: RPI



Источник: Sony Semiconductor Manufacturing



Источник: IMEC

Будущее
создается

Оборудование для процессов гетерогенной интеграции

ostec
группа компаний

Оборудование для процессов гетерогенной интеграции

R&D

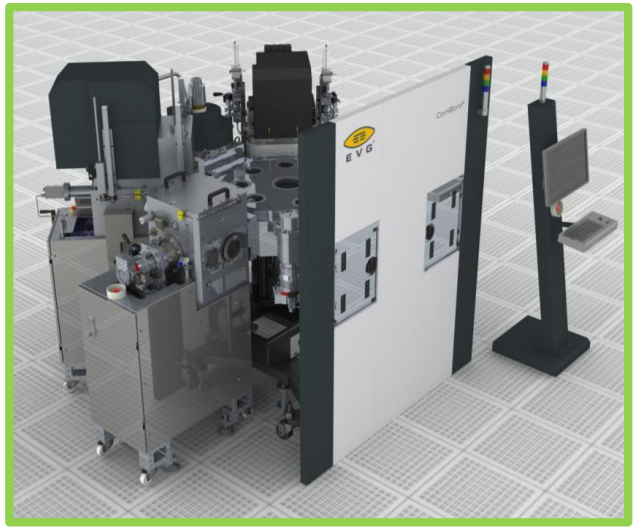
EVG 520IS

EVG Gemini

Характеристики

- До 650 °C
- Равномерность температуры: < ±1,2
- До 200 мм
- До 100 кН
- До 10^{-6} мбар

Mass Production



EVG Combond

EVG Bondscale

Характеристики

- До 650 °C
- Равномерность температуры: < ±1,2%
- До 300 мм
- До 100 кН
- До $5x10^{-8}$ мбар

Postec группа компаний

Будущее создается

Будущее
создается

Спасибо за внимание!

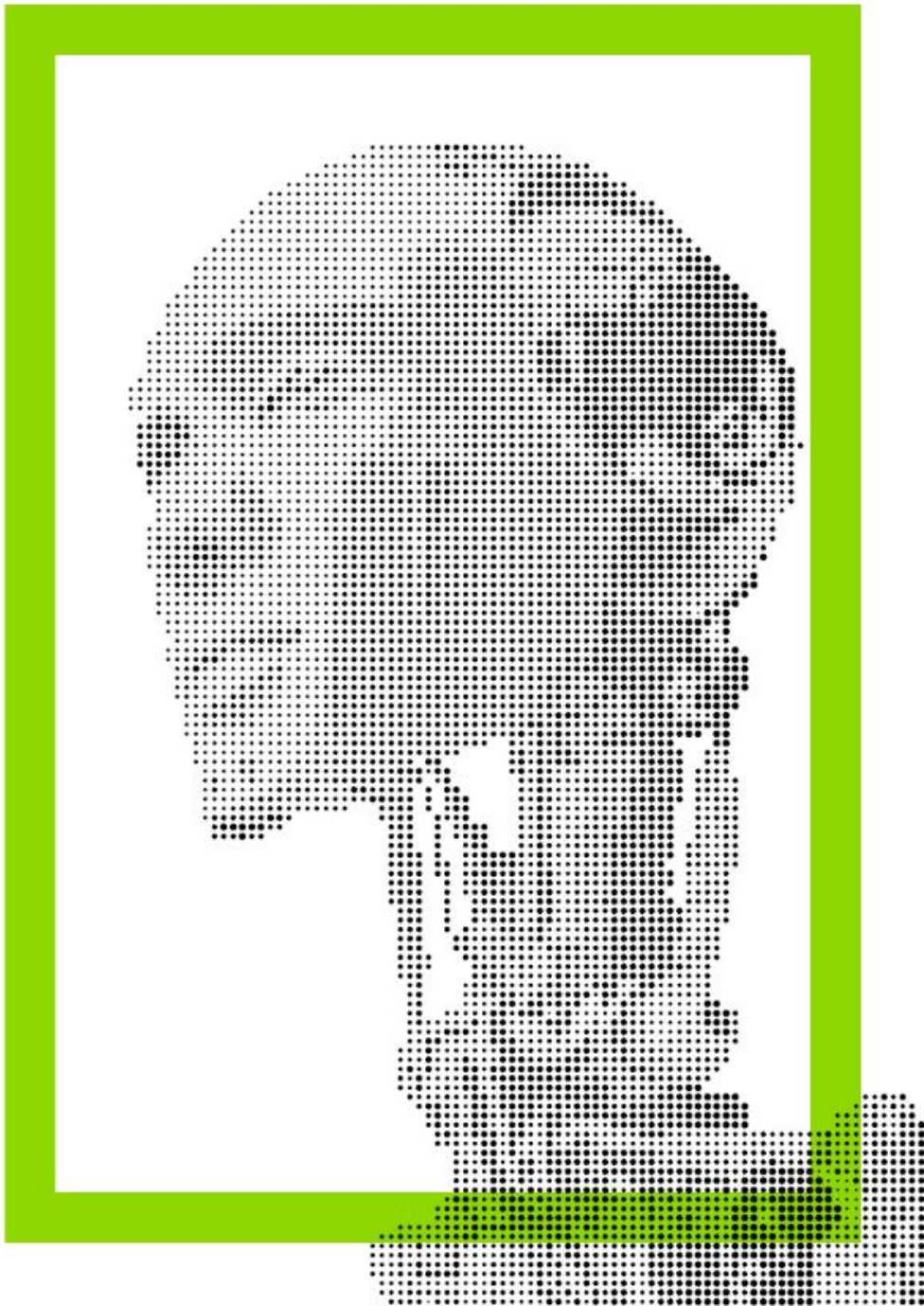
Партнер SEMIEXPO Russia

Суханов Дмитрий Александрович
Заместитель технического директора

ООО «Остек-ЭК»
Группа компаний Остек

Молдавская ул., д. 5, стр. 2, Москва, Россия, 121467

тел.: (495) 788-44-44, доб. 5333; факс: (495) 788-44-42

e-mail: Sukhanov.D@ostec-group.ru
www.ostec-group.ru, www.ostec-micro.ru

ostec
группа компаний