

# Кремниевая и арсенид-галлий-алюминиевая технология: концепция построения 3D М ФЭФ М и изделий на их основе

## Часть 2

Валерий Сведе-Швец, Владислав Сведе-Швец, Максим Зиновьев (Москва)

Кремниевая-фотонная и арсенид-галлий-алюминиевая технологии позволяют реализовать перспективные технологии соединений посредством многоканальных оптических и электрических каналов, реализующие фотон-электрон-фотонные связи непосредственно на поверхности полупроводниковых кристаллов. Такой подход сформулирован авторами на основе организации ввода-вывода информации, используя поверхность всего кристалла.

### Базовые принципы создания 3D М ФЭФ М

3D матричные фотон-электрон-фотонные модули, предлагаемые ООО «ОЭС», основаны на ряде базовых принципов, включающих новые концепции развития интегральной оптоэлектроники, такие как: кремниевая-фотонная технология, арсенид-галлий-алюминиевая (AlGaAs) технология, кремниевые матричные фотон-электронные СБИС, 3D-технология изготовления гибридных интегральных многоканальных схем.

**Кремниевая-фотонная технология** – это кремниевая технология с библиотекой базовых элементов для производства матриц фотон-электронных Si-кристаллов СБИС – М ФЭ СБИС Si с оптическим матричным и электрическим регистровым интерфейсом. М ФЭ СБИС Si строится по двумерной архитектуре с матрицей ячеек функциональных интеллектуальных пикселей. В каждой ячейке пикселя содержатся и последовательно располагаются

фотонная площадка с электронным приёмным устройством, АЦП, функциональная схема (процессор, память, коммутатор и т.д.), ЦАП и усилители тока для лазеров вертикального излучения, интерфейс EMIFA, матричные и регистровые электрические контакты.

Блоки АЦП и ЦАП необходимы для формирования оптического интерфейса ввода-вывода с импульсной аналогово-цифровой модуляцией, что позволяет по одиночному оптическому каналу пикселя передавать или принимать слова из восьми или более бит информации за один такт. М ФЭ СБИС Si имеет три многоканальных интерфейса: матричный-оптический, матричный-электрический (для приёма, передачи информации) и регистровый-электрический (для передачи команд и данных).

М ФЭ СБИС Si выполняет такие основные функции, как обработку данных и обмен информацией по трём интерфейсам, что позволяет получить очень высокий пропускной поток информации за единицу тактовой частоты, и является одним из преимуществ М ФЭ СБИС Si перед электронными СБИС.

**Арсенид-галлий-алюминиевая (AlGaAs) технология** – это технология для производства матриц электрон-фотонных кристаллов лазеров вертикального излучения VCSEL – М ФЭ СБИС VCSEL. Вертикально-излучающие лазерные диоды VCSEL (Vertical-Cavity Surface-Emitting Laser) диапазонов длин волн 850/980 нм стали базовыми приборами для оптоволоконных систем передачи данных со скоростями до 10 Гбит/с.

### Технологии кремниевых матричных фотон-электронных СБИС

позволяют создавать ряды функциональных матричных М ФЭ СБИС Si с электрической интерфейсной шиной EMIFA для связи с управляющим процессором и периферийными устройствами. Для таких систем необходим управляющий процессор, который осуществляет обмен данными и сигналами управления с М ФЭ СБИС Si и выдаёт общесистемные команды при работе с внешними устройствами.

Конструкторские решения по созданию объёмных 3D-устройств включают в себя: использование 3D-технологии для изготовления и сборки гибридных интегральных многоканальных схем (ГИМС) и 3D матричных фотон-электрон-фотонных модулей (3D М ФЭФ М) и построения объёмных 3D-устройств на их основе, таких как архитектурно-системные устройства высокопроизводительных информационно-вычислительных, коммутационных и радиолокационных систем и комплексов на основе 3D М ФЭФ М.

3D М ФЭФ М – это модуль, имеющий герметичный корпус с двумя матричными оптическими линзовыми растрами и внешним электрическим разъёмом, в котором по ГИМС-технологии установлены два электрически связанных кристалла (М ФЭ СБИС Si и М ФЭ СБИС VCSEL), которые устанавливаются на плате-носителе либо связываются непосредственно между собой по технологии Flip-Chip в металлокерамическом PGA-корпусе.

На рисунке 5 показана конструкция модуля 3D М ФЭФ М.

В 3D М ФЭФ М реализуются внутренние и внешние многоканальные связи. Две внешние фокальные плоскости 3D М ФЭФ М обеспечивают ортогональный ввод и/или вывод матричной, фотонной информации по многоканальным оптическим проводным и/или беспроводным каналам связи. Планарные электрические матрич-

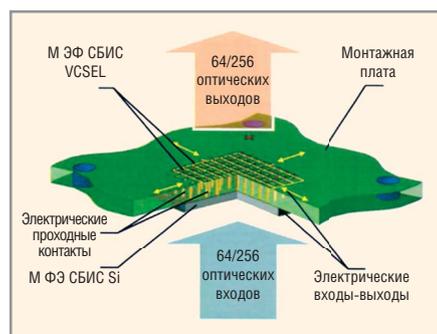


Рис. 5. Конструкция модуля 3D М ФЭФ М

ные каналы образуют связь между двумя интегральными полупроводниковыми кристаллами, а электрические регистровые каналы реализуют обмен данными и командами по параллельному интерфейсу EMIFA.

Кристаллы для 3D М ФЭФ М изготавливаются с применением технологий Si и AlGaAs.

Принцип реализации матричной оптической, матричной и регистровой электрических связей в 3D М ФЭФ М приведён на рисунке 6а.

В 3D М ФЭФ М внешняя многоканальная матричная оптическая связь направлена ортогонально к плоскостям кристаллов Si и AlGaAs, по оси Z.

Внутренние электрические – для связи двух кристаллов, а внешние электрические регистровые связи – по осям X, Y и Z относительно плоскостей полупроводниковых СБИС, установленных в 3D М ФЭФ М.

Такая организация многоканальных оптических и электрических связей в 3D М ФЭФ М переводит его в категорию полупроводниковых приборов с объёмной, трёхмерной 3D-архитектурой.

На рисунке 6б приведён принцип построения архитектуры устройства на базе 3D М ФЭФ М с многоканальной потоковой обработкой информации.

3D М ФЭФ М позволяет реализовать режим потоковой, вертикальной обработки информации, поступающей по многоканальным оптическим каналам, с обработкой информации «на проходе», без промежуточного её хранения.

### Кремниво-фотонная и арсенид-галлий-алюминиевая технологии

Разработанные кремниво-фотонная и арсенид-галлий-алюминиевая технологии позволили реализовать перспективные технологии соединений, представленные на рисунке 4 в первой части статьи (см. журнал «Современная электроника» №3, 2017), и обеспечили выполнение требований новой парадигмы, реализующей особенности построения объёмных многоканальных фотон-электрон-фотонных модулей – 3D М ФЭФ М с многоканальными интеллектуальными портами.

Функциональный ряд 3D М ФЭФ М с управляющим электронным процессором на мезонинной плате позволяет создавать следующие высокопроизводительные изделия радиоэлектронного и оптоэлектронного приборостроения:

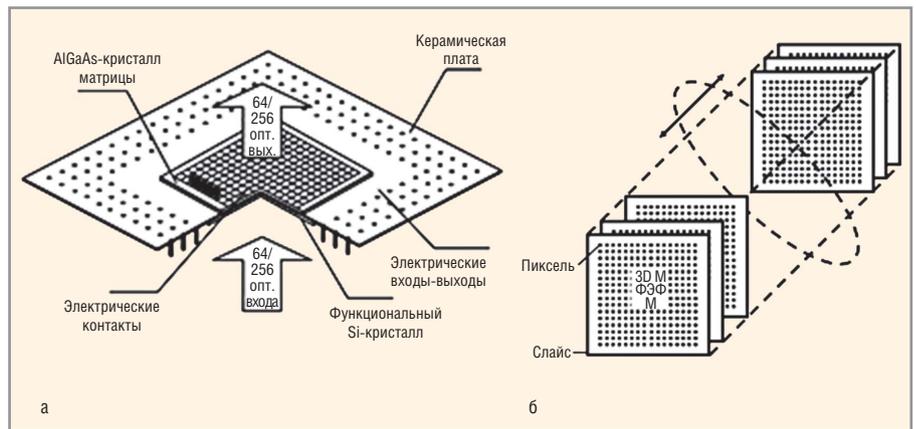


Рис. 6. Архитектура устройств на базе 3D М ФЭФ М: а – связь в 3D М ФЭФ М; б – организация «вертикальной обработки»



Рис. 7. Пластина кремния на сапфире (КНС) Ø76 мм с функциональными матричными кристаллами

- распределённые высокопроизводительные информационно-вычислительные системы бортового и наземного базирования;
- многодатчиковые устройства ЦАР для радиолокации и связи;
- многоканальные высокоскоростные коммутационные устройства для оптических магистралей РЛС с фазированными антенными решётками с применением обмена информацией по стандарту Space Wire;
- многоканальные интеллектуальные адаптеры с платами для устройств промышленной электроники;
- многопроцессорные высокопроизводительные вычислительные модули и платформы;
- многоканальные оптические векторные и нейросетевые вычислители.

Кремниво-фотонная и арсенид-галлий-алюминиевая технологии, разработанные ООО «ОЭС», прошли этапы научных исследований, проектных, конструкторских и технологических решений, экспериментального макетирования и изготовления

опытных образцов, измерения и приёмку.

В процессе разработки кремниво-фотонной технологии Si-кристаллов матриц интеллектуальных пикселей было проведено исследование оптимального выбора структуры с учётом формирования кремниевого диода, как элемента, и его сопряжение с базовой библиотекой электронных элементов, применяемых в типовой кремниевой Si-технологии завода-изготовителя.

Были исследованы три варианта кремниво-фотонной технологии формирования Si-фотодиода на пластине с учётом выбора стороны фотонной засветки фотодиода лазером VCSEL, технологии сборки 3D ГИМС и 3D М ФЭФ М.

1. Технология кремний на сапфире (КНС) с фотонной засветкой лазером VCSEL фотодиода через сапфировую подложку (снизу) (см. рис. 7).
2. Технология кремний на изоляторе (КНИ) с вытравленными в кремниевой подложке с противоположной стороны полупроводниковой структуры воздушными каналами и фотон-

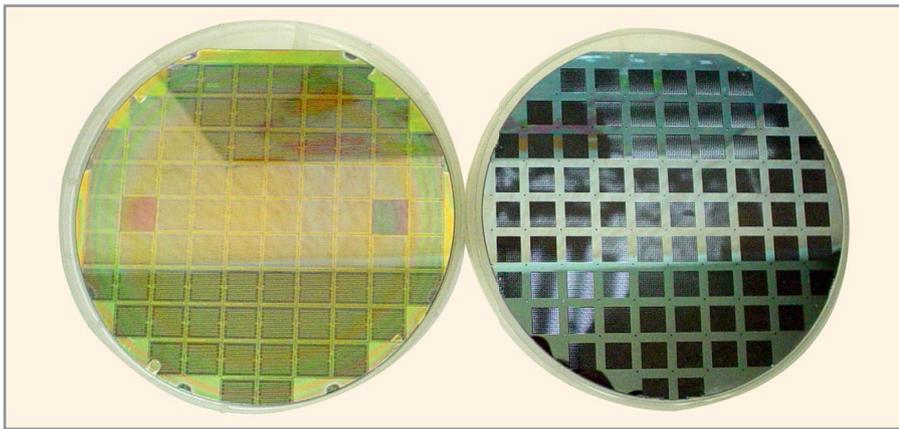


Рис. 8. Пластины кремния на изоляторе (КНИ) Ø150 мм с функциональными матричными кристаллами и воздушно-оптическими каналами с обратной стороны (лицевая и обратная сторона)

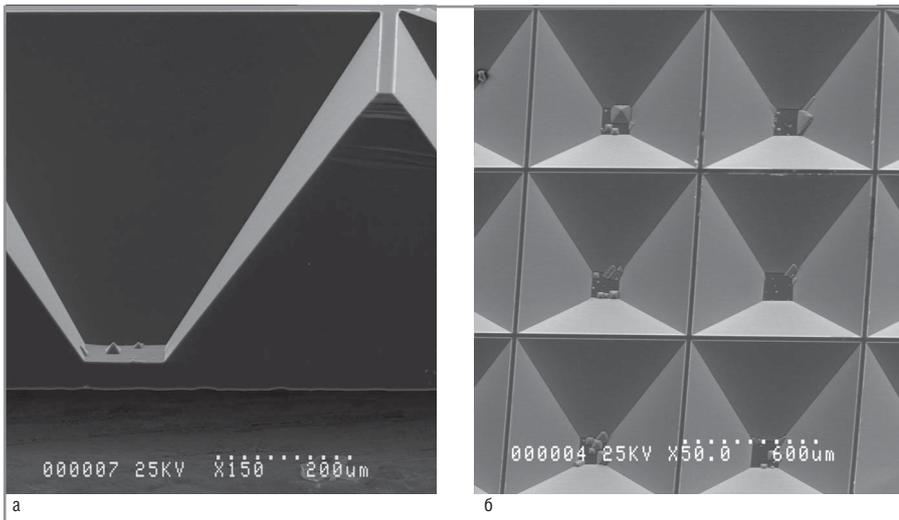


Рис. 9. Микрофотографии воздушно-оптических каналов в кремниевой пластине после сухого травления: а – вид сбоку; б – вид сверху

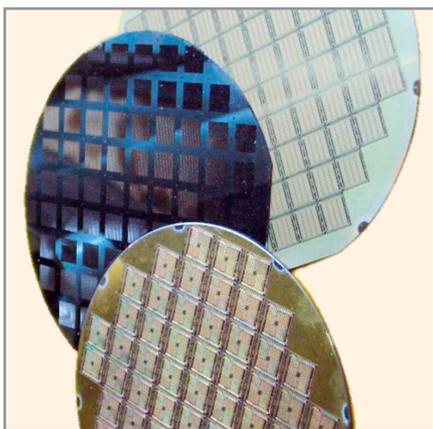


Рис. 10. Фотография кремниевых пластин Ø150 мм с функциональными матричными кристаллами

ной засветкой лазером VCSEL фото диода через тонкую плёнку изолятора. На рисунке 8 представлены фото макетных образцов пластин КНИ с матричными воздушными каналами и кремниевыми кристаллами. На рисунке 9 – микрофотографии

фотонных каналов в кремниевой пластине после сухого травления.

3. Типовая кремниевая технология изготовления матричных полупроводниковых структур, на которых засветка фотодиодов осуществляется лазерами VCSEL в прямом контакте (см. рис. 10). В результате проведённой работы по созданию ряда 3D М ФЭФ М было осуществлено следующее.

1. Проектирование по кремниевой технологии Si кристаллов матриц интеллектуальных пикселей с аналоговыми, цифровыми схемами и интегральными фотонными приёмными ячейками для оптических каналов связи с использованием САПР. Разработана документация по технологическим нормам фабрики-изготовителя. Для отработки кремниевой технологии изготовления Si-кристаллов матриц интеллектуальных пикселей были изготовлены пластины с опытными образцами матричных кристаллов интеллектуальных пикселей с ана-

говыми, цифровыми схемами и интегральными фотонными приёмными ячейками для оптических каналов связи и электрическими контактными площадками. После чего были получены рабочие образцы Si-пластин с кремниевыми матричными кристаллами с учётом требований кремниевое-фотонной технологии, включая изготовление шариковых выводов для монтажа по технологии Flip-Chip, изготовления оптически прозрачных каналов с обратной стороны Si-пластины к фотодиодным площадкам функциональных пикселей, которые прошли разделение пластин на отдельные матричные кристаллы, проверку и паспортизацию.

2. Проектирование по арсенид-галлий-алюминиевой AlGaAs-технологии кристаллов матриц вертикально излучающих лазеров VCSEL с использованием САПР, выпуск документации по технологическим нормам фабрики-изготовителя. В результате были изготовлены опытные образцы AlGaAs-пластин с кристаллами матриц VCSEL. После были получены рабочие образцы с матрицами VCSEL на основе AlGaAs с сформированными шариковыми выводами для монтажа по технологии Flip-Chip. Пластины AlGaAs VCSEL подвергались резке на отдельные матричные кристаллы, проверке и паспортизации.

Результаты проведённой работы позволили реализовать в 3D М ФЭФ М следующие виды обмена информацией:

- оптический приём – логическая обработка, коммутация – оптический выход;
- оптический приём – логическая обработка, коммутация – электрический выход;
- электрический приём – логическая обработка, коммутация – оптический выход;
- электрический приём – логическая обработка, коммутация – электрический выход.

Важным параметром работы 3D М ФЭФ М является то, что все виды обмена выполняются одновременно в многоканальном и параллельном режимах.

В следующей статье будет рассмотрен процесс проведения работ по формированию технологии матричной трёхмерной элементной базы, во время которого были разработаны и исследованы лазеры вертикального излучения и фотодиоды для генерации и приёма фотонных сигналов.





РАДИОКОМПЛЕКТ-ВП

# КВАЛИФИЦИРОВАННЫЙ ПОСТАВЩИК ЭЛЕКТРОННЫХ КОМПОНЕНТОВ российских и зарубежных производителей

Зарегистрированы в Реестре ЦОС «Электронсерт»  
в качестве квалифицированного поставщика от 22.06.2015



- Комплексная поставка электронных компонентов импортного производства, стран СНГ и России
- Печатные платы
- Инверторы, конвертеры, источники питания, зарядные устройства для всех типов аккумуляторов
- Постоянно в наличии весь ряд SMD-компонентов и электрических соединителей
- Работаем в соответствии с основными федеральными законами №223-ФЗ от 18.07.2011, №44-ФЗ от 05.04.2013, №275-ФЗ от 29.12.2012

Реклама