

# ДВУХСТОРОННЯЯ ЛИТОГРАФИЯ – РЕШЕНИЕ ПРОБЛЕМ ОТВОДА ТЕПЛА И РАЗВОДКИ МЕЖСОЕДИНЕНИЙ В ИМС

В. Плебанович, к.т.н. [Vpleba@kbtem-omo.by](mailto:Vpleba@kbtem-omo.by)

По мере повышения степени интеграции ИМС возникают две проблемы. Первая в том, что увеличивается площадь межсоединений. Для сложных ИМС даже при 12-уровневой металлизации эта площадь превышает площадь активных элементов, следовательно, дорогостоящие материалы микроэлектроники (кремний, арсенид галлия и др.) расходуются неэффективно. Вторая проблема – с увеличением количества элементов затрудняется отвод тепла от активных областей схемы. Плотность мощности достигает примерно  $100 \text{ Вт/см}^2$ , и микропроцессоры, СВЧ-усилители мощности, драйверы выходных устройств не могут функционировать без принудительного охлаждения. Освоение следующей технологической нормы только усугубит проблему. Поэтому разрабатываются новые способы отвода тепла из зоны теплогенерации. Один из них – создание теплоотводящих каналов на непланарной стороне пластины (подложки). Но при этом возникает дополнительная задача – как обеспечить высокую точность совмещения элементов на планарной и непланарной сторонах подложки. Авторы предлагают способ двухсторонней литографии и поясняют, как реализовать этот процесс на оборудовании, имеющемся на современном производстве ИМС.

## ОТВОД ТЕПЛА ОТ ТЕПЛОГЕНЕРИРУЮЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ ИМС

Во времена формулирования закона Мура никто не предполагал, что возникнет опасность расплавления ИС, когда их тактовая частота достигнет 5 ГГц [1]. Тенденция изменения плотности мощности, выделяемой микропроцессорами фирмы Intel, при максимальных режимах

работы представлена на рис.1. Сегодня немногие ИМС имеют такое количество активных элементов и подобную плотность их размещения, но аналогичная тенденция характерна для большинства разработок. Особенно для микросхем, связанных с управлением нагрузками большой мощности и усилением сигналов СВЧ в десятки и сотни гигагерц.

Поэтому неудивительно, что конструкторы ищут нетрадиционные способы решения задачи отвода тепла от активных элементов. Один из них – размещение теплоотводящего канала под активной областью транзистора, для которой характерны наибольшее выделение энергии и разогрев. Это решение даст положительный результат, только если теплопроводящий канал (на непланарной стороне подложки) будет находиться точно под затвором транзистора (на планарной стороне) и минимально перекрывать его стоковые и истоковые области. Иными словами, топология канала должна быть совмещена с топологией планарной стороны с точностью не ниже  $\pm 10...20\%$  минимального топологического размера элемента "затвор" на планарной стороне. При проектных нормах 1,5–3 мкм требуемая точность совмещения – выше 0,3 мкм.

### 3D-МЕТОД СОЗДАНИЯ ИМС. СИСТЕМА В КОРПУСЕ

Если говорить о плотности размещения активных элементов, то у схем памяти она самая высокая благодаря регулярности структуры и возможности расположить проводники межсоединений наиболее плотно. Для других схемотехнических решений (при отсутствии регулярности структуры) плотность размещения активных элементов определяется возможностью разводки межсоединений. Поэтому в таких сложных ИМС, как микропроцессоры, 8–12 слоев металла. Увеличить количество металлических слоев ради повышения плотности упаковки микросхемы не позволяют технологические ограничения.

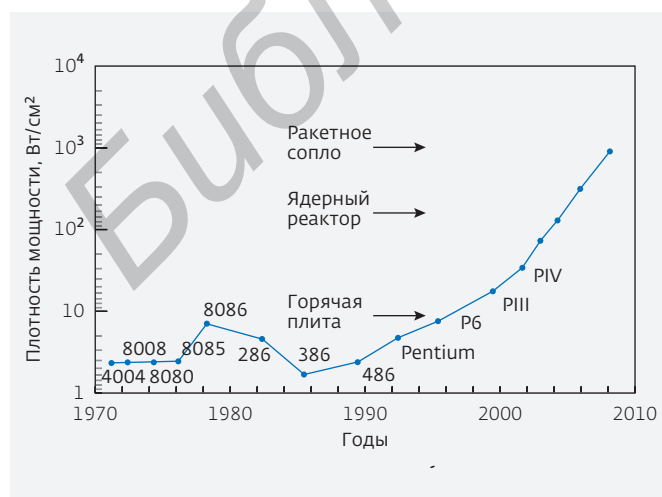


Рис.1. Изменение плотности мощности для поколений микропроцессоров фирмы Intel [2]

По мере увеличения количества слоев металлизации повышается плотность размещения активных элементов внутри схемы, а также удлиняются проводники, что снижает быстродействие ИМС. Поэтому был предложен 3D-метод создания ИМС с использованием TSV соединений (**Through-silicon via (TSV)** – технология этажерочных межсоединений сквозь подложку ИС). Благодаря этому в малом объеме удастся создать большую функциональность. Кроме того, значительно уменьшается длина межсоединений, что приводит к увеличению быстродействия. Фрагмент схемы Samsung, изготовленной по технологии TSV, изображен на рис.2. Требования к столбиковым выводам (см. рис.2) довольно жесткие – размеры контактных площадок –  $20 \times 17$  мкм, шаг – 50 мкм. Сформированные TSV имеют диаметр 7,5 мкм, сопротивление 0,22–0,24 Ом и электрическую емкость 47,4 фФ.

Изготавливаются столбиковые соединения после завершения формирования ИМС с планарной стороны пластины. С непланарной стороны проводится фотолитография для вскрытия контактных окон под контактными площадками, расположенными на планарной стороне. Точность размещения окон должна быть не ниже  $\pm 0,5$  мкм. Травится контактное окно в подложке с непланарной стороны до контактной площадки, расположенной на лицевой стороне пластины. Внутренняя поверхность контактного окна покрывается диэлектриком для обеспечения требуемой изоляции межсоединений, проходящих через подложку, и затем методом химического осаждения формируется проводящий столбик для обеспечения этажерочного межсоединения.

Данная технология, кроме повышения плотности монтажа, увеличения быстродействия, позволяет совместить несовместимое. Например, надо создать систему в корпусе, выходным блоком которой служит СВЧ-схема. Такую схему проще создать

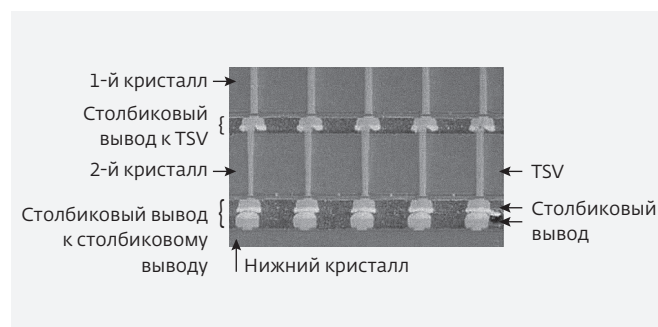


Рис.2. Фрагмент схемы фирмы Samsung, изготовленной по технологии со столбиковыми выводами



**Рис.3.** Установка формирования двухсторонних знаков совмещения ЭМ-5186

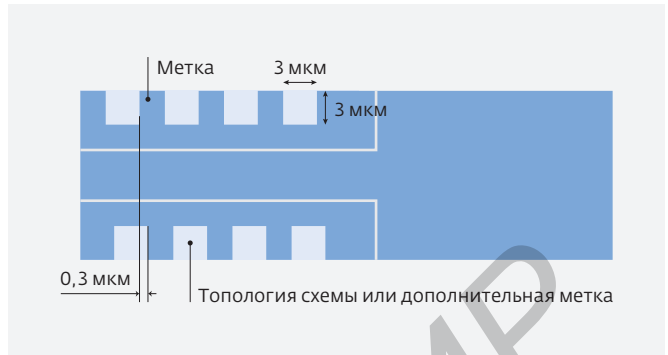
на подложке из GaAs. Управлять выходной схемой будет контролер, изготовленный по CMOS-технологии в кремнии, а хранить данные лучше в ДОЗУ на основе NMOS-технологии. Предлагаемая технология позволяет собрать в 3D ИМС все кристаллы (СВЧ-схему, контроллер и память).

Без сомнения, каждая операция на маршруте изготовления ответственна, но к операции прецизионного совмещения контактных окон (на непланарной стороне) с контактными площадками (на планарной стороне) предъявляются повышенные требования.

### ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ МЕТКИ С НЕПЛАНАРНОЙ СТОРОНЫ ПОВЫШАЮТ ТОЧНОСТЬ И УСТОЙЧИВОСТЬ СОВМЕЩЕНИЯ

Для точного совмещения используют специальные знаки совмещения (метки) с контролируемым зазором, которые входят в состав топологических рисунков соответствующих слоев.

Метки позволяют совмещать с высокой воспроизводимостью слои на фотолитографии по всему маршруту изготовления ИС. На качество совмещения не влияют окислительные и химические процессы, технология осаждения слоев нитрида кремния, поликремния, боросиликатных стекол, а также напыление металлов, плазмохимических окислов и пассивирующих слоев. Но один технологический процесс – эпитаксиальное выращивание кремния – приводит к значительному искажению рисунка ("заростанию") метки (при толщине эпитаксиального слоя более 7 мкм), что не позволяет использовать такую метку для последующих совмещений.



**Рис.4.** Расположение метки с непланарной стороны подложки

Для решения проблемы точности совмещения после проведения эпитаксиального наращивания кремния предлагается формировать запасные (дополнительные) метки совмещения с непланарной стороны пластины, которая не подвергается эпитаксиальному наращиванию, подробно метод описан в работе [3].

### ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ДВУХСТОРОННЕЙ ЛИТОГРАФИИ. НАСТОЛЬНЫЙ СТЕППЕР ЭМ-5186

Наносить метку с непланарной стороны пластины можно на установках контактной печати с модулем инфракрасного (ИК) совмещения по непланарной стороне или на установках проекционной печати и даже на генераторах изображений. Но все эти установки имеют два недостатка: низкую точность совмещения по непланарной стороне (2-5 мкм) и высокую стоимость (более 500 тыс. долл.). Поэтому многие производители ИС вынуждены решать проблему: зачем дополнительно (к функционирующей фотолитографической линии) закупать дорогостоящее оборудование с посредственными параметрами, искать производственные площади, планировать дополнительные энергоносители, обучать персонал, заранее зная, что новое оборудование не будет загружено полностью.

Предлагается разделить технологический процесс создания топологии на непланарной стороне на две простые операции: формирование прецизионной метки совмещения (точность выше 0,3 мкм) с непланарной стороны и выполнение операции совмещения топологии с привязкой к этой метке. При таком технологическом маршруте операция совмещения топологии на непланарной стороне проводится на существующем оборудовании, что значительно уменьшает затраты на разработку новой технологии и обучение персонала.

Библиотека БГУИР

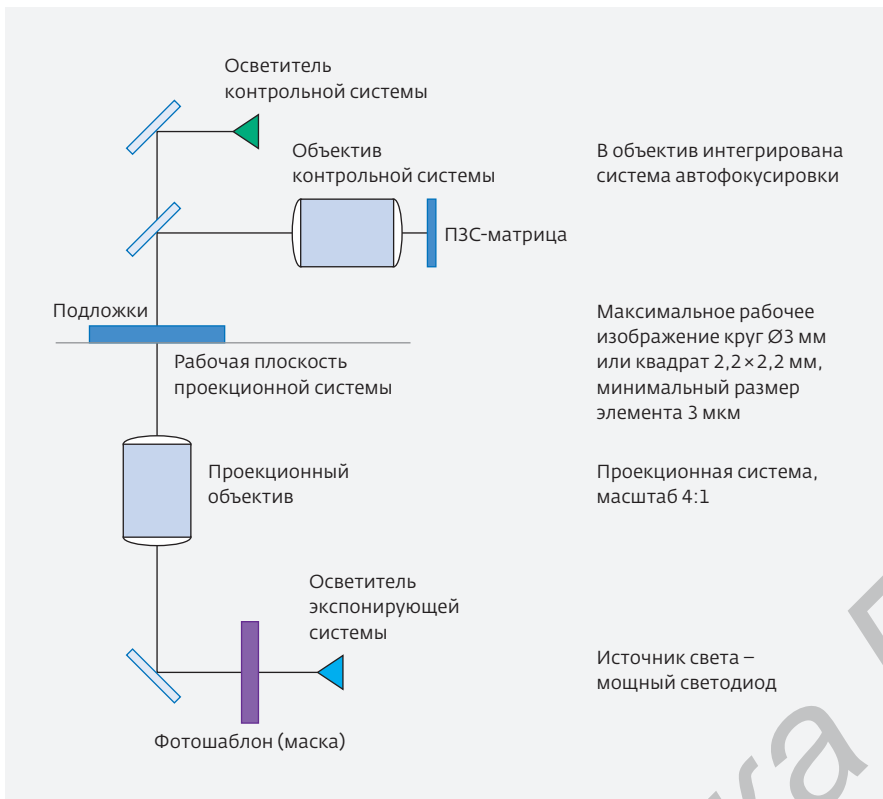


Рис.5. Оптическая схема установки ЭМ-5186

Для переноса метки совмещения на непланарную сторону предлагается инновационное решение на базе настольного степпера ЭМ-5186 (рис.3).

Установка представляет собой настольный степпер, который по программе, составленной инженером-оператором, обойдет все метки на планарной стороне, зафиксирует их точные координаты, добавит поправочные коэффициенты, которые были определены во время периодической автоматической аттестации и с высокой точностью (более 0,3 мкм) создаст метку в фоторезисте на непланарной стороне (рис.4).

Высокая точность достигается благодаря простой и надежной оптической схеме установки (рис.5) и периодической (перед каждой экспонируемой пластиной) автоматической аттестации положения оптической оси установки.

Таким образом, добавление к имеющейся технологической линейке односторонней фотолитографии установки ЭМ-5186 создает участок фотолитографии, на котором выполняется технологический процесс с двухсторонним совмещением. При этом не имеет значения выбор установки совмещения – проекционная печать, генератор изображений или контактная печать, импортного или отечественного производства. Установка

ЭМ-5186 позволяет работать с различными типами меток совмещения, автоматически определять их точные координаты. Тип подложек, их толщина также не влияют на функционирование механизмов установки, которая адаптирована для применения с любыми подложками, в том числе с прозрачными. Максимальный размер подложек ограничен 200 мм.

Установка ЭМ-5186 представляет собой оптико-механическое устройство размерами 815×680 мм и весом 250 кг. Размещается на жестком лабораторном столе. Параметры установки гарантируются при эксплуатации в помещении класса 5ISO в диапазоне температур от 20 до 24°C и относительной влажности (50 ± 10)%.

Установка подключается к электрической однофазной трехпроводной сети переменного тока напряжением 230 В (частота 50 Гц, потребляемая мощность 300 Вт) и к магистрали сжатого воздуха (давление 0,4 МПа и расход 0,2 м³/ч).

\* \* \*

В заключение призываю специалистов, представляющих предприятия радиоэлектронной промышленности больше доверять отечественным разработчикам оборудования и тем самым стимулировать их к созданию новых более сложных решений.

Полная информация о разработках компании доступна на сайте <http://kb-oto.by> или по телефону: +375173922406.

### ЛИТЕРАТУРА

1. **Colin Johnson R.** Thermoelectric Nanowires to Cool Chips // EE Times, 2/9/2015.
2. **Белоус А.И., Солодуха В.А., Шведов С.В.** Космическая электроника. – М: Техносфера, 2015. С. 488. ISBN 978-5-94836-398-1.
3. **Плебанович В., Сятковский Л., Воронин С.** Фотолитография. Решение проблемы прецизионного совмещения слоев после эпитаксии // Электроника НТБ. 2012. № 1. С. 100-102.