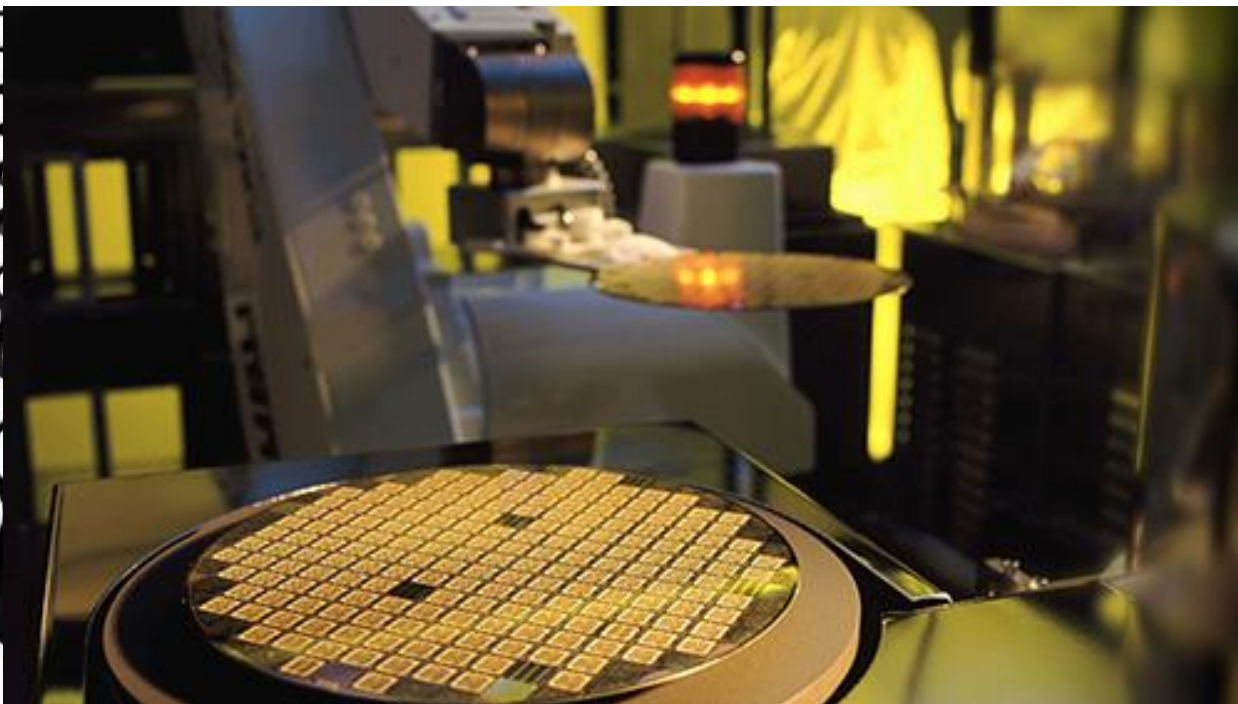
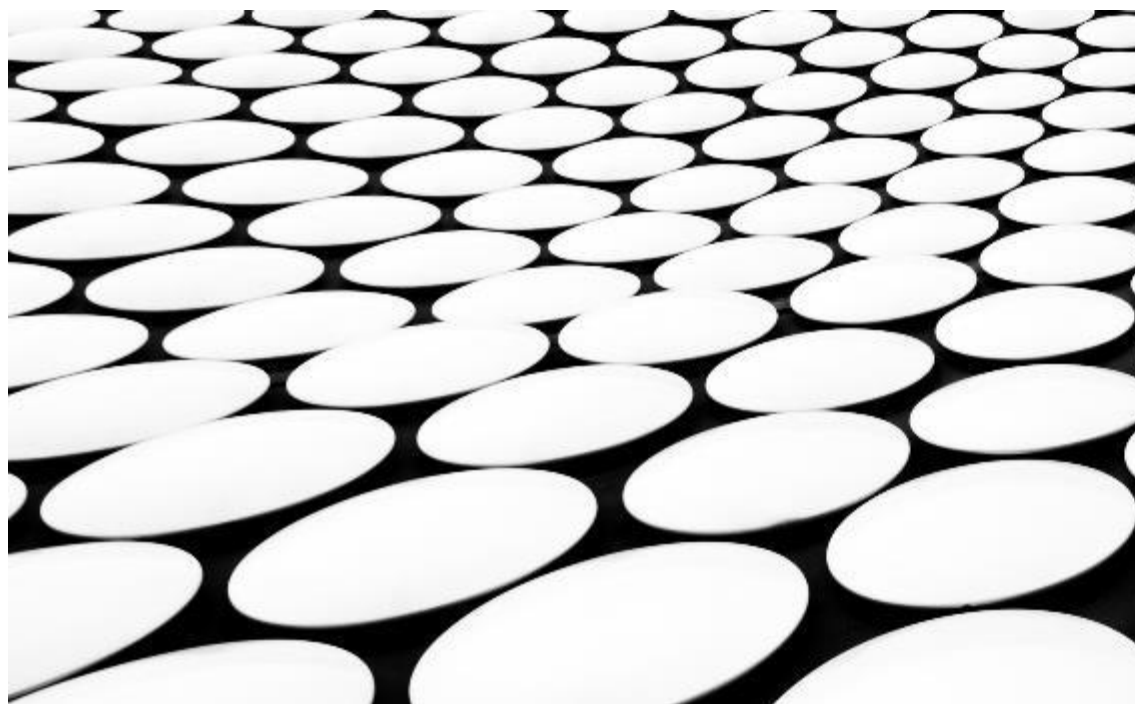
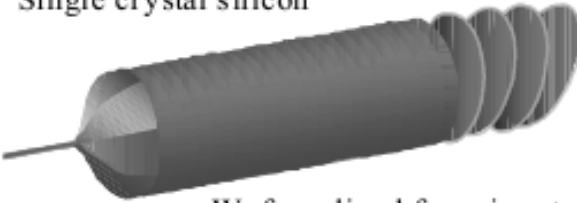
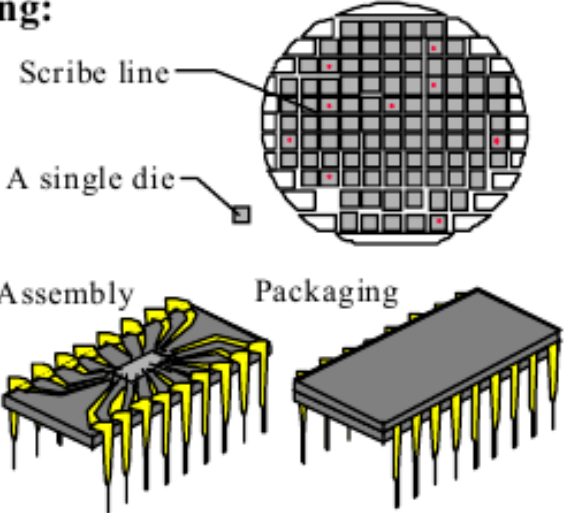
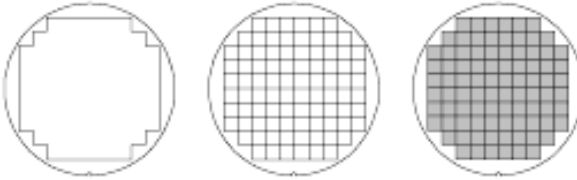
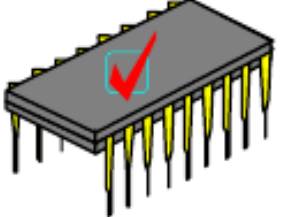
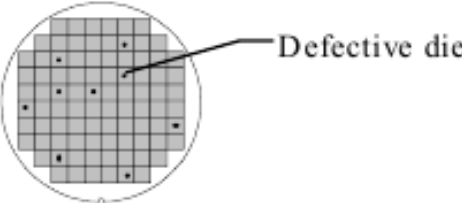


# ОСНОВЫ ТЕХНОЛОГИИ ЭЛЕКТРОННОЙ КОМПОНЕНТНОЙ БАЗЫ

## БЛОК 3. КОРПУСИРОВАНИЕ



# ПОЛУПРОВОДНИКОВАЯ ИНДУСТРИЯ

1.	<b>Wafer Preparation</b> includes crystal growing, rounding, slicing and polishing.	<p>Single crystal silicon</p>  <p>Wafers sliced from ingot</p>	4.	<b>Assembly and Packaging:</b> The wafer is cut along scribe lines to separate each die.  Metal connections are made and the chip is encapsulated.	 <p>Scribe line</p> <p>A single die</p> <p>Assembly</p> <p>Packaging</p>
2.	<b>Wafer Fabrication</b> includes cleaning, layering, patterning, etching and doping.		5.	<b>Final Test</b> ensures IC passes electrical and environmental testing.	
3.	<b>Test/Sort</b> includes probing, testing and sorting of each die on the wafer.	 <p>Defective die</p>			

## ВОЗДУХ И ВОДА

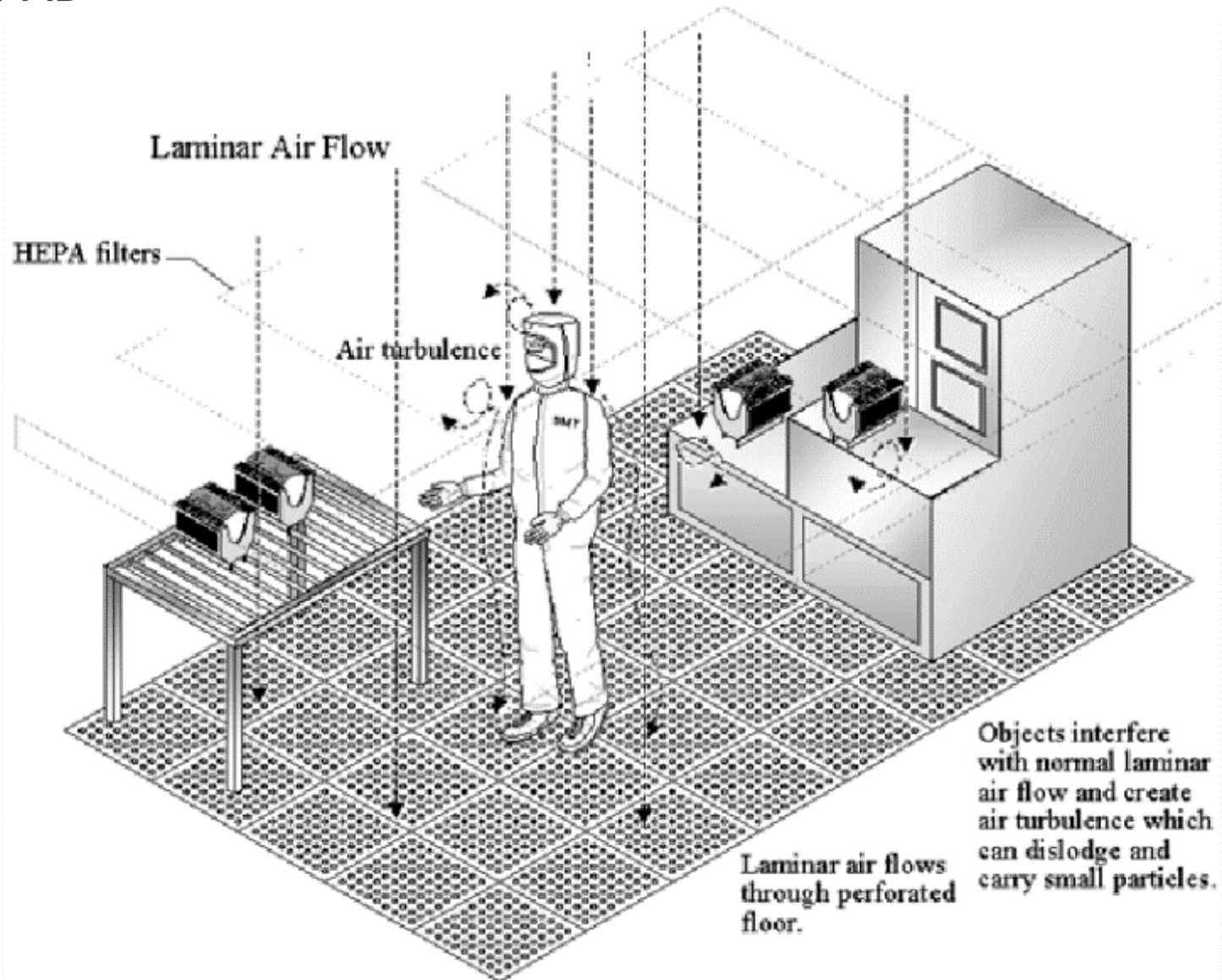
- Чистая комната: контролируется температура, влажность и количество пыли в воздухе. Воздух в cleanroom контролируется и классифицируется по содержанию в нём твёрдых частиц. Обычно отфильтрованный воздух входит в cleanroom ламинарным потоком через перфорацию потолка и удаляется через перфорацию пола, вновь попадая в систему фильтрации. Избыточное давление порядка 5 Па.
- При изготовлении ИС используется очень большое количество деионизованной воды. Контроль чистоты подаваемой воды проводится по её удельному сопротивлению: если  $> 18 \text{ МОм}\cdot\text{см}$ , то вода считается деионизованной. Воду пропускают через систему фильтров, пористых материалов и ультрафиолетовый стерилизатор.

ISO 14644-1-2002	ГОСТ Р 50766-95	США 209E (метрический)	США 209D
1	P 1	-	-
2	P 2	-	-
3	P3 (1)	M 1.5	1
4	P4 (10)	M 2.5	10
5	P 5 (100)	M 3.5	100
6	P 6 (1000)	M 4.5	1000
7	P 7 (10000)	M 5.5	10000
8	P 8 (100000)	M 6.5	100000
9	P9 (1000000)	-	-

Класс	на 1 м <sup>3</sup> :	0.1 мкм	0.3 мкм	1 мкм
1		10	-	-
2		100	10	-
3		1000	102	8
4		10000	1020	83
5		100000	10200	832



# FAB



# КОНТРОЛЬ ПАРАМЕТРОВ ИС

Метод	Аббревиатура		Исследование морфологии	Химический анализ	Исследование кристаллографической структуры и механических свойств	Электрическое топографирование
	(русская)	(английская)				
Электронная оже-спектроскопия	ЭОС	AES		×		
Растровая электронная микроскопия в режиме наведенного тока	РЭМНТ	EBIC				×
Лазерное отражение	ЛО	LR			×	
Нейтронно-активационный анализ	НАА	NAA		×		
Оптическая микроскопия в режиме интерференционного контраста по Номарски	...	...	×			
Обратное рассеяние Резерфорда	ОРР	RBS		×	(×)	
Растровая электронная микроскопия	РЭМ	SEM	×	(×)		(×)
Масс-спектрометрия вторичных ионов	МСВИ ВИМС	SIMS		×		
Электроннография на просвет	ЭНП	TED			×	

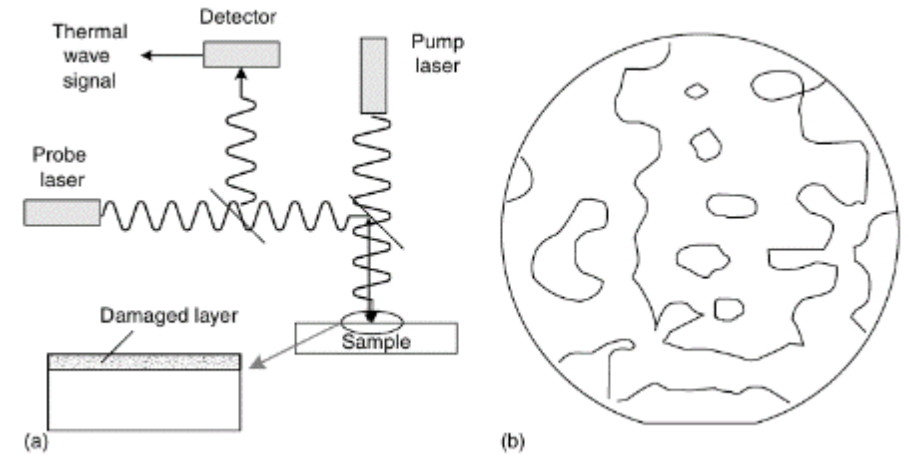
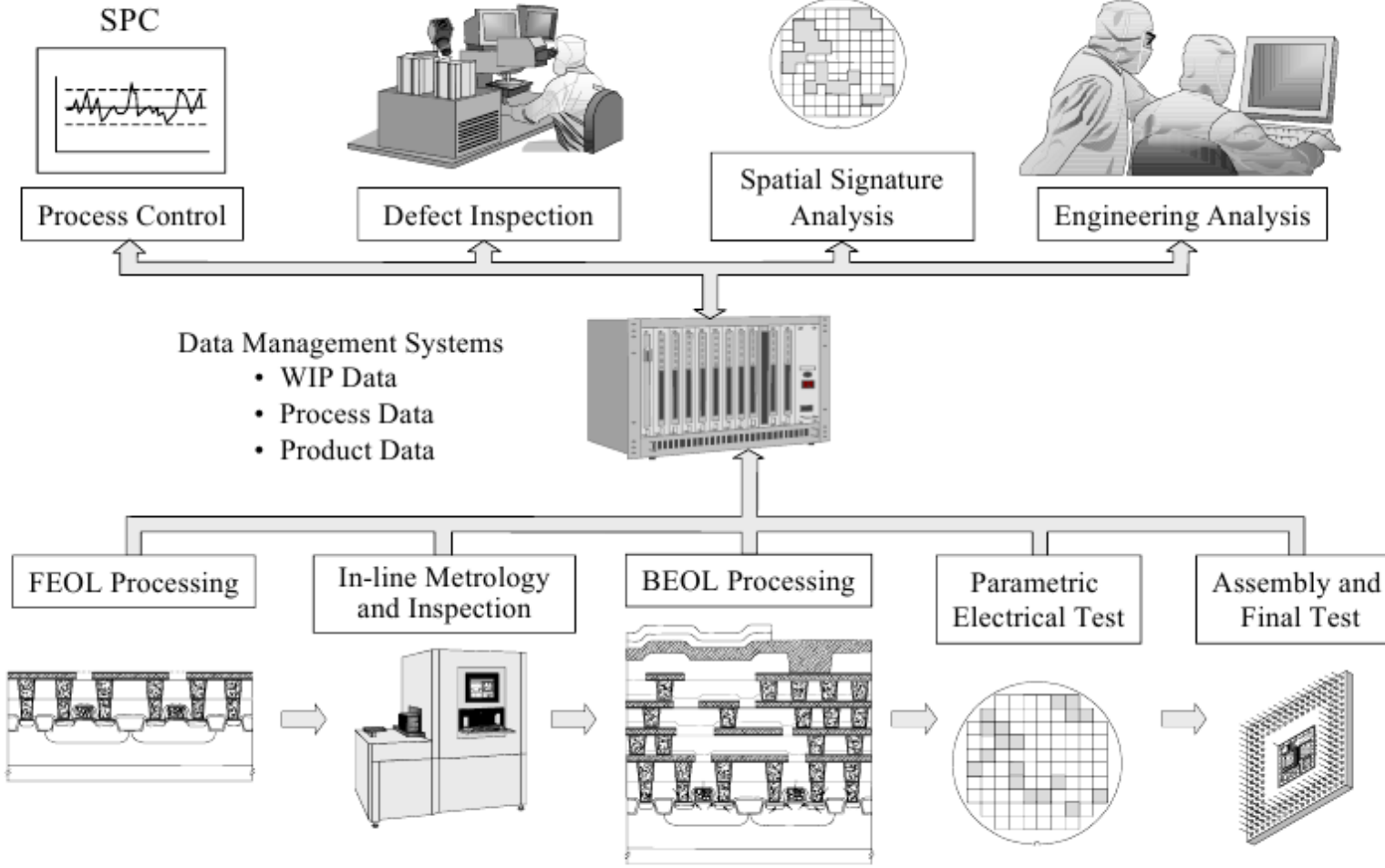
продолжение таблицы

Просвечивающая электронная микроскопия	ПЭМ	TEM	×	(×)	×	(×)
Растровая электронная микроскопия в режиме потенциального контраста	РЭМПК	VC				×
Рентгеновская дифракция	РД	XRD			×	
Рентгеновский микроанализ	РМА	XES		×		
Рентгеновский флуоресцентный анализ	РФА	XRF		×		
Рентгеновская фотоэлектронная спектроскопия	РФЭС	XPS, ESCA		×		

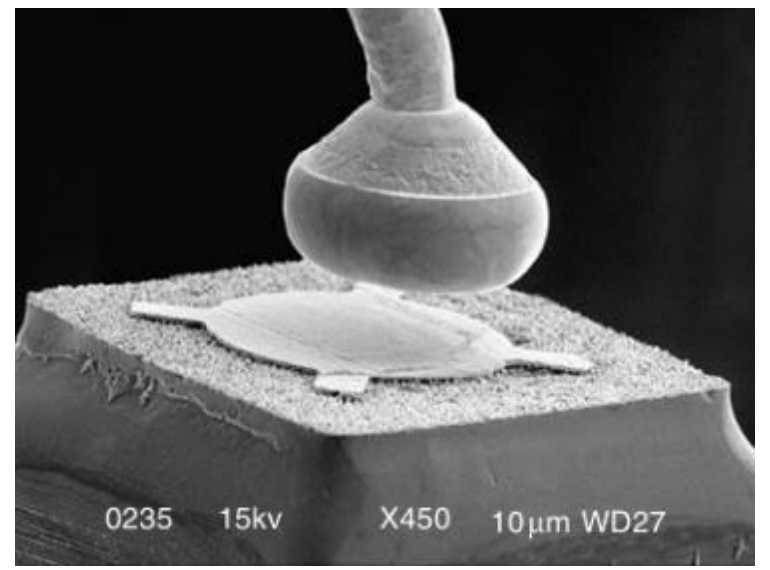
Четыре главных направления для решения проблем, связанных с технологией изготовления ИС:

- исследование морфологии
- химический анализ
- изучение кристаллической структуры и механических свойств
- электрическое топографирование

# WAFER TESTS



микроскопия модулированного фотоотражения;  
электронная микроскопия





## КОРПУСИРОВАНИЕ

- Основной целью герметизации корпуса является защита от внешних загрязнений во время функционирования прибора. Герметизацию выполняют стеклом, металлом, ближе к микросхеме используют эпоксидные смолы и кремнийорганические соединения.

$$P = K \cdot x \cdot G^{\beta}$$

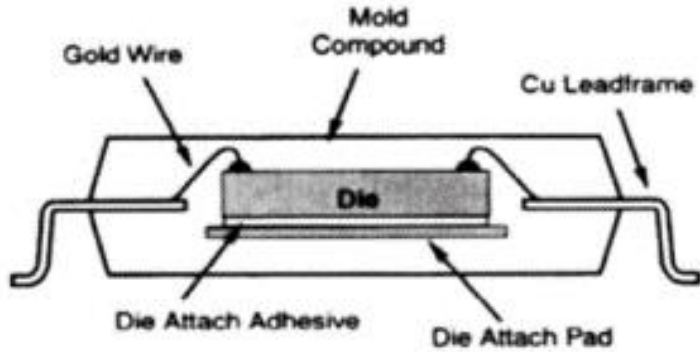
$K$  – среднее количество каналов ввода-вывода у одного вентиля;  
 $G$  – количество вентиляей;  
 $\beta$  – показатель степени Рента (от 0.1 до 0.7);  
 $P$  – количество ножек ввода-вывода микросхемы.



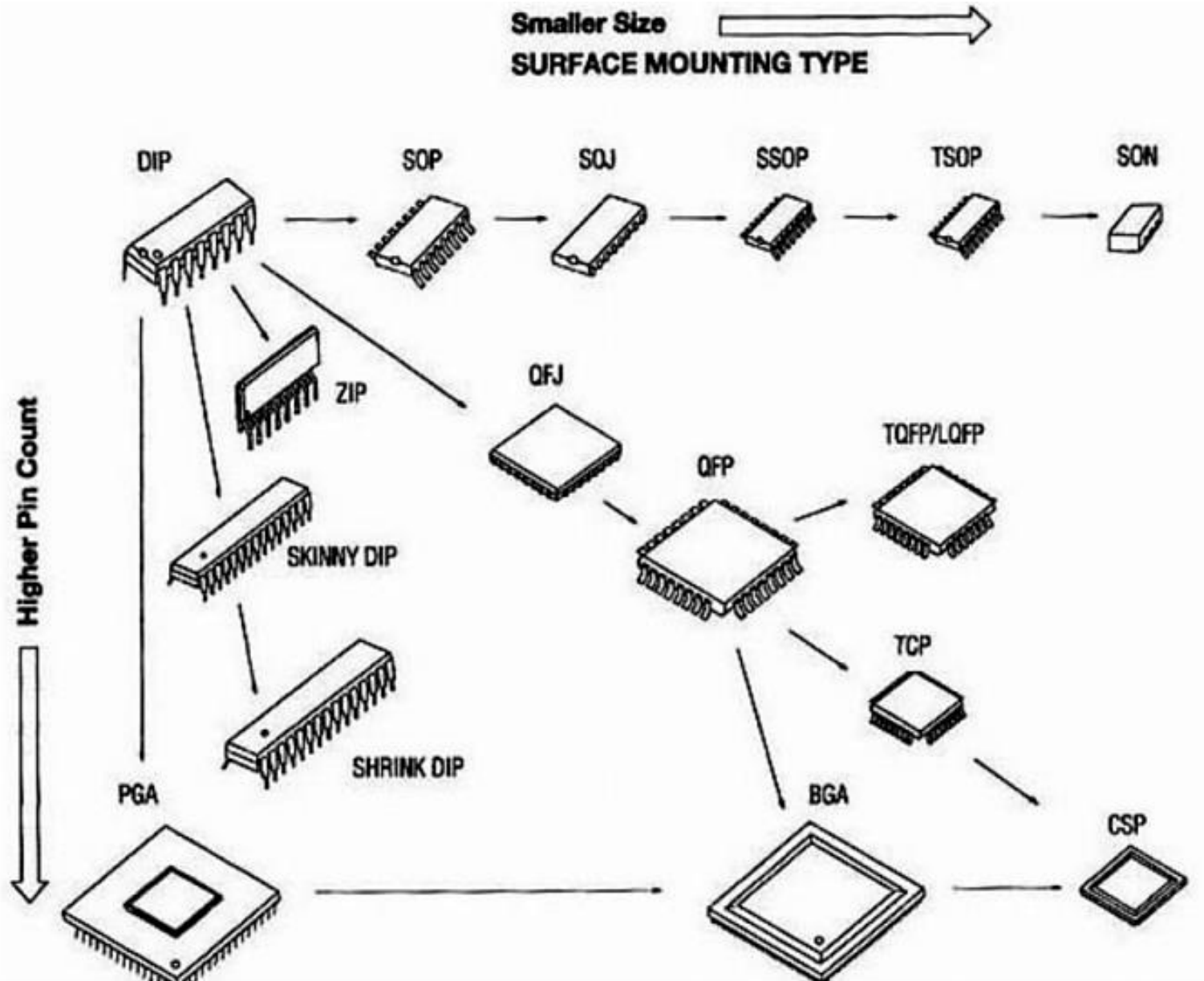
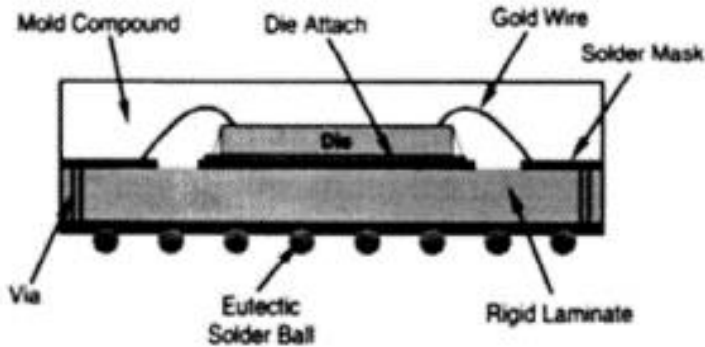
До 50% задержки быстродействия чипа обуславливается задержками в его корпусе.

# ВИДЫ КОРПУСОВ

## Peripheral Leaded Package

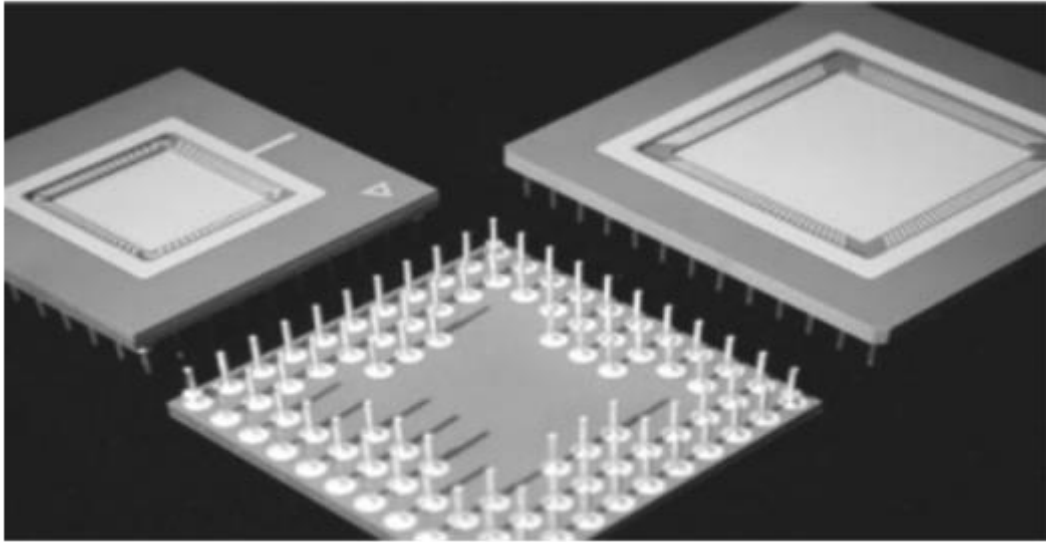


## Area Array Package

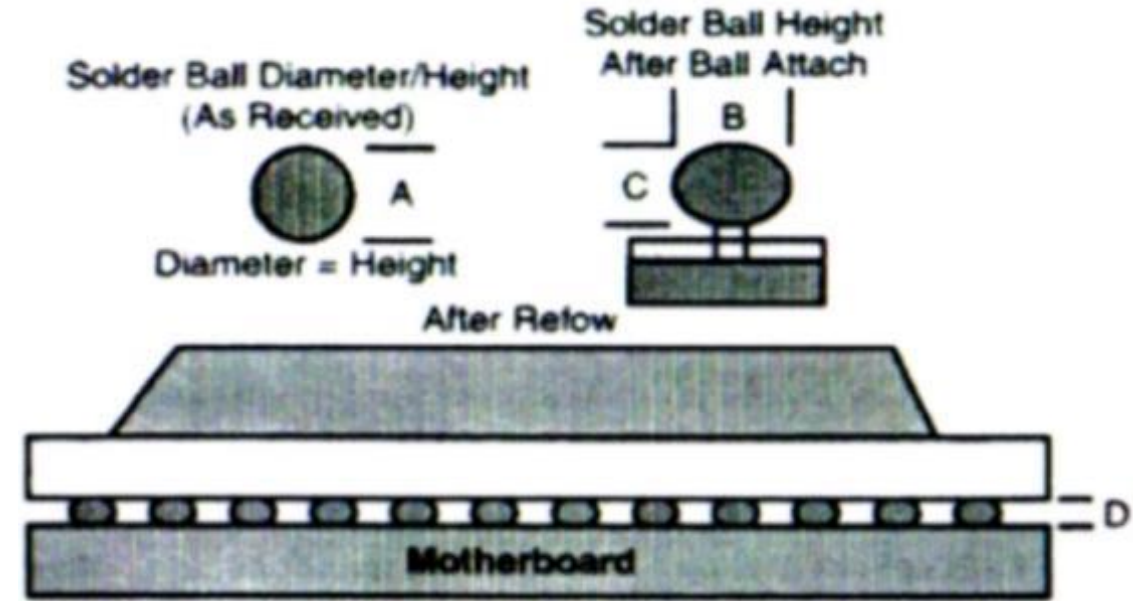




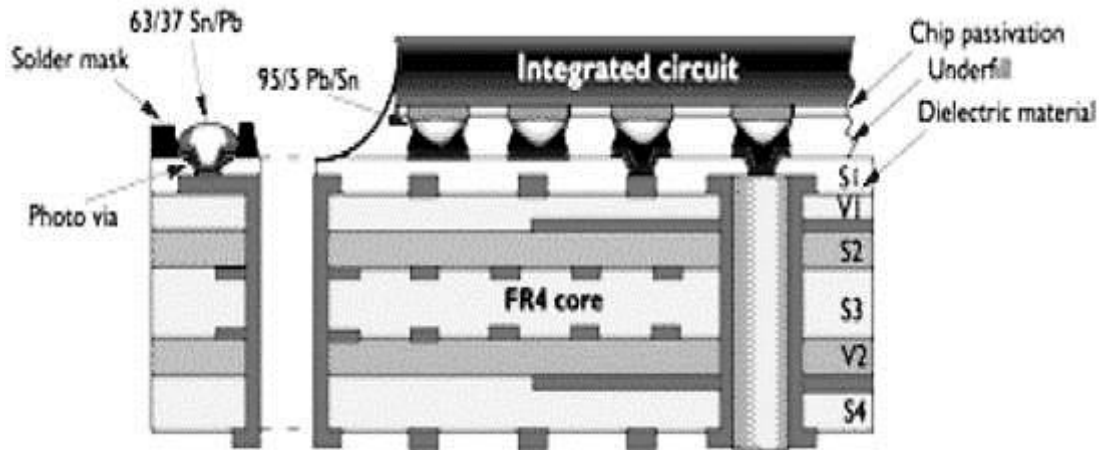
# СОВРЕМЕННЫЕ СПОСОБЫ КОРПУСИРОВАНИЯ



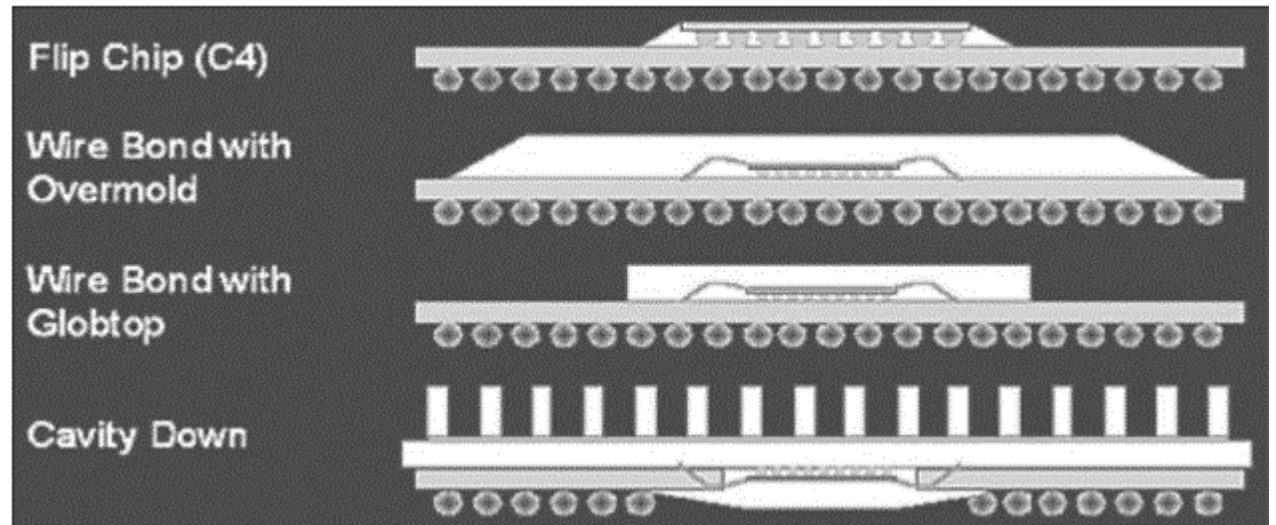
Pin Grid Array Package (PGA)



Ball Grid Array (BGA)



Flip Chip in package (FCIP PBGA)

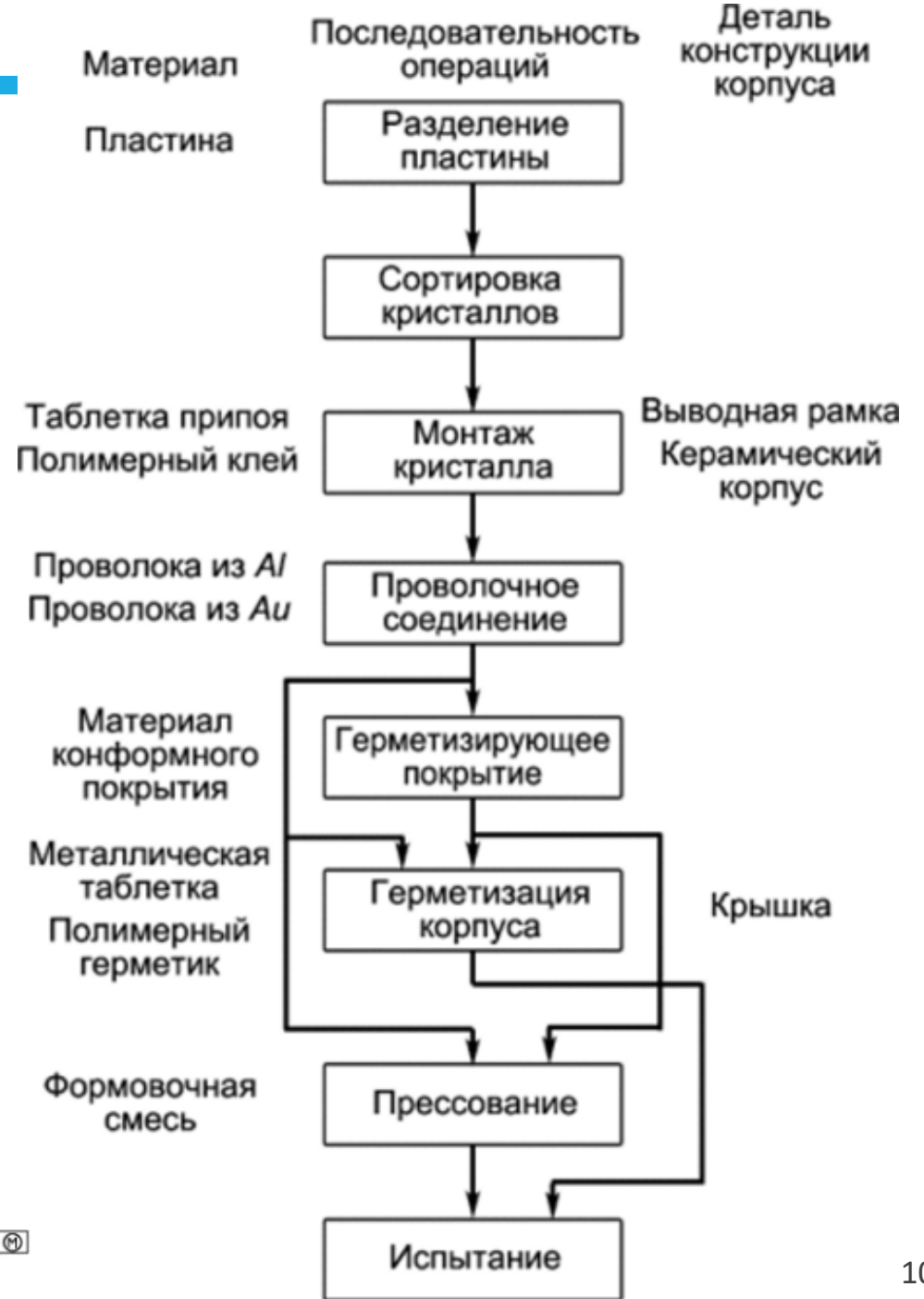
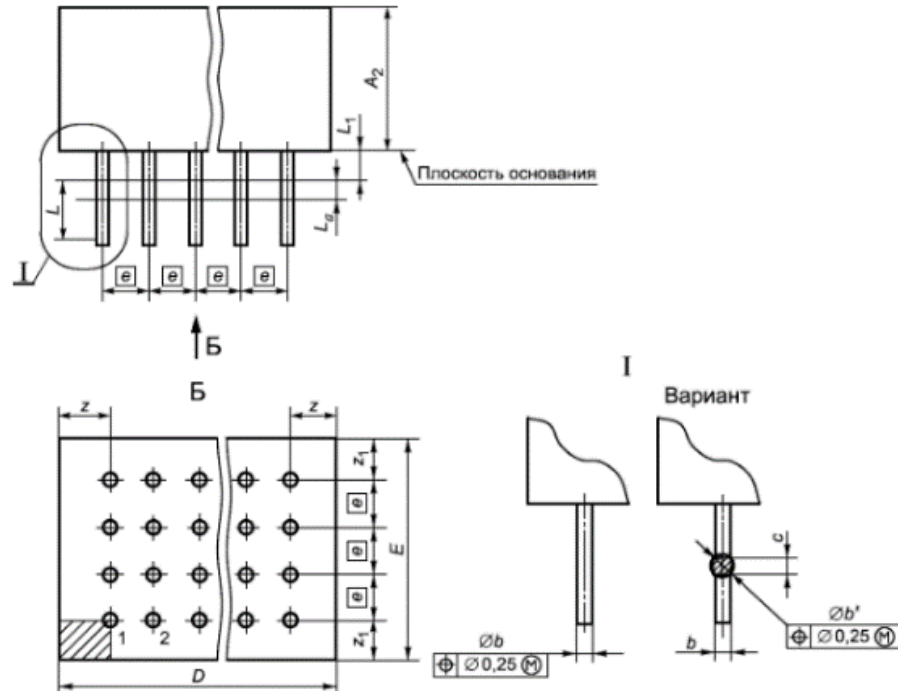


# ТЕХНОЛОГИЯ КОРПУСИРОВАНИЯ

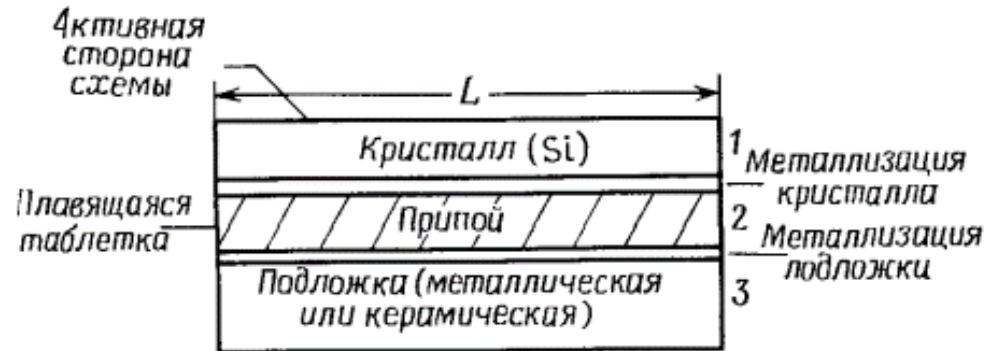
- Резка пластин и чистка кристаллов
- Монтаж кристалла
- Разводка соединений и пайка (микросварка, ультразвуковая сварка)
- Герметизация изделий
- Тестирование и контроль микросхемы

## ГОСТ 54844-2011:

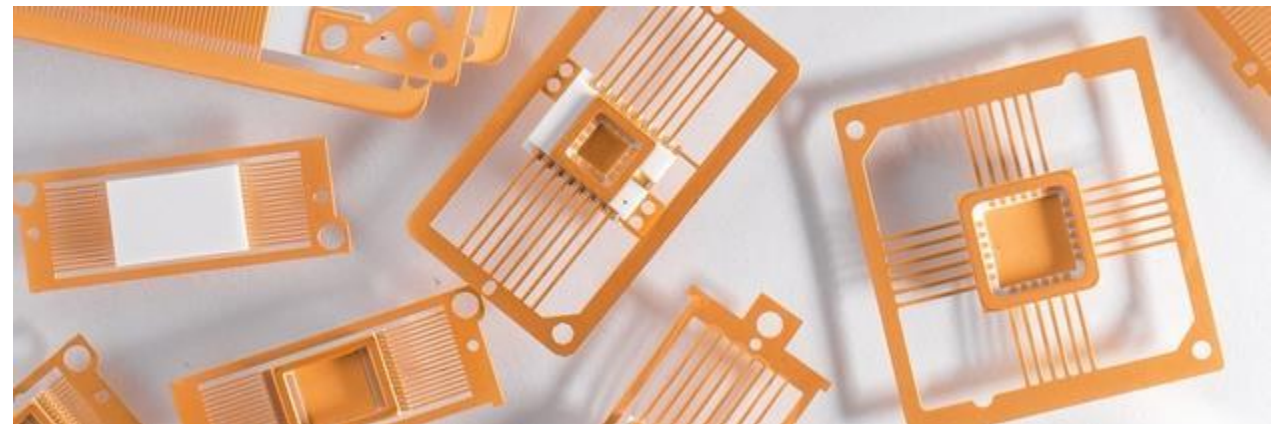
8 основных типов корпусов (отличаются по форме корпуса, форме и расположению выводов), у каждого корпуса стандартизируются основные размеры.



# ТЕХНОЛОГИЯ КОРПУСИРОВАНИЯ



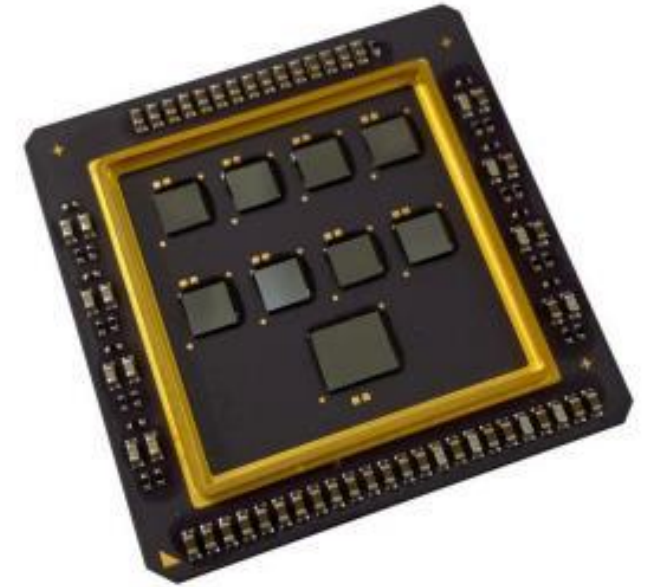
Двумя основными методами монтажа кристалла является соединение его с корпусом твёрдыми припоями (эвтектикой) либо полимерами. В первом случае для обеспечения смачиваемости обратной стороны кристалла расплавом на обратной стороне подложки обычно создают слой металлизации. При этом используют выводную рамку. Во втором случае используются эпоксидные клеи с серебряным наполнителем. Наполнитель делает эти клеи электро- и теплопроводными.



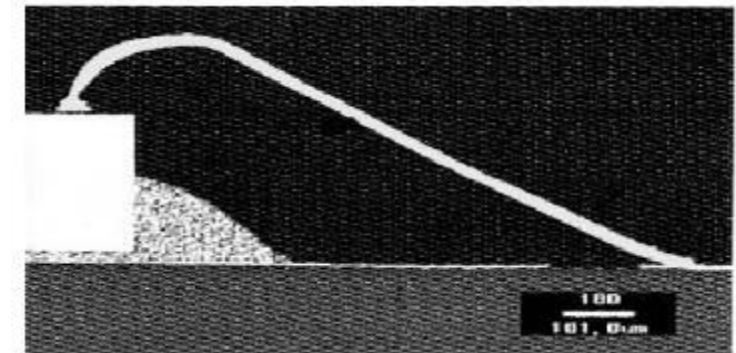


# КОНТАКТЫ

Для электрического соединения выводов кристалла с контактными площадками корпуса или платы используются в основном три метода подсоединения: проволочное, автоматизированное соединение на ленточном носителе и соединение методом перевернутого кристалла.



Properties	Al	Cu	Au
Thermal Conductivity (W/m-°K)	237	403	319
Melting point (°C)	660	1083	1064
Electrical resistivity (Ohm-m °C)	$2.7 \times 10^{-8}$	$1.7 \times 10^{-8}$	$2.3 \times 10^{-8}$
Elastic modulus (Pa)	$3.4 \times 10^{10}$	$1.3 \times 10^{10}$	$7.7 \times 10^{10}$
Yield strength (Pa)	$1.0 \times 10^7$	$6.9 \times 10^7$	$1.7 \times 10^8$
Ultimate Tensile Strength (Pa)	$4.5 \times 10^7$	$2.2 \times 10^8$	$2.1 \times 10^8$
Coefficient of Thermal Expansion (ppm/ °C)	46	16	14
Percentage Elongation (%)	50	51	4



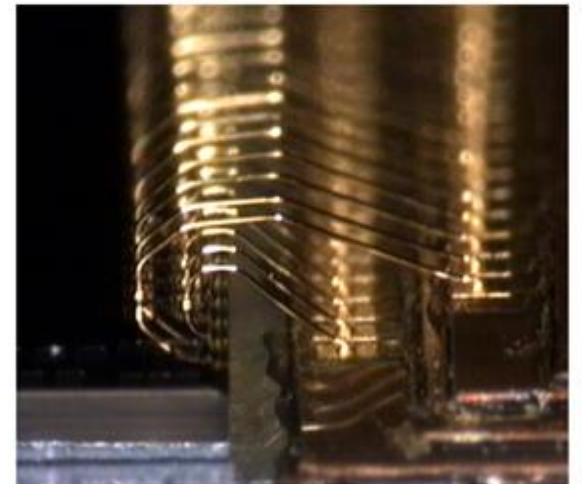


## КОНТАКТЫ: ПРОВОЛОЧНЫЙ МОНТАЖ

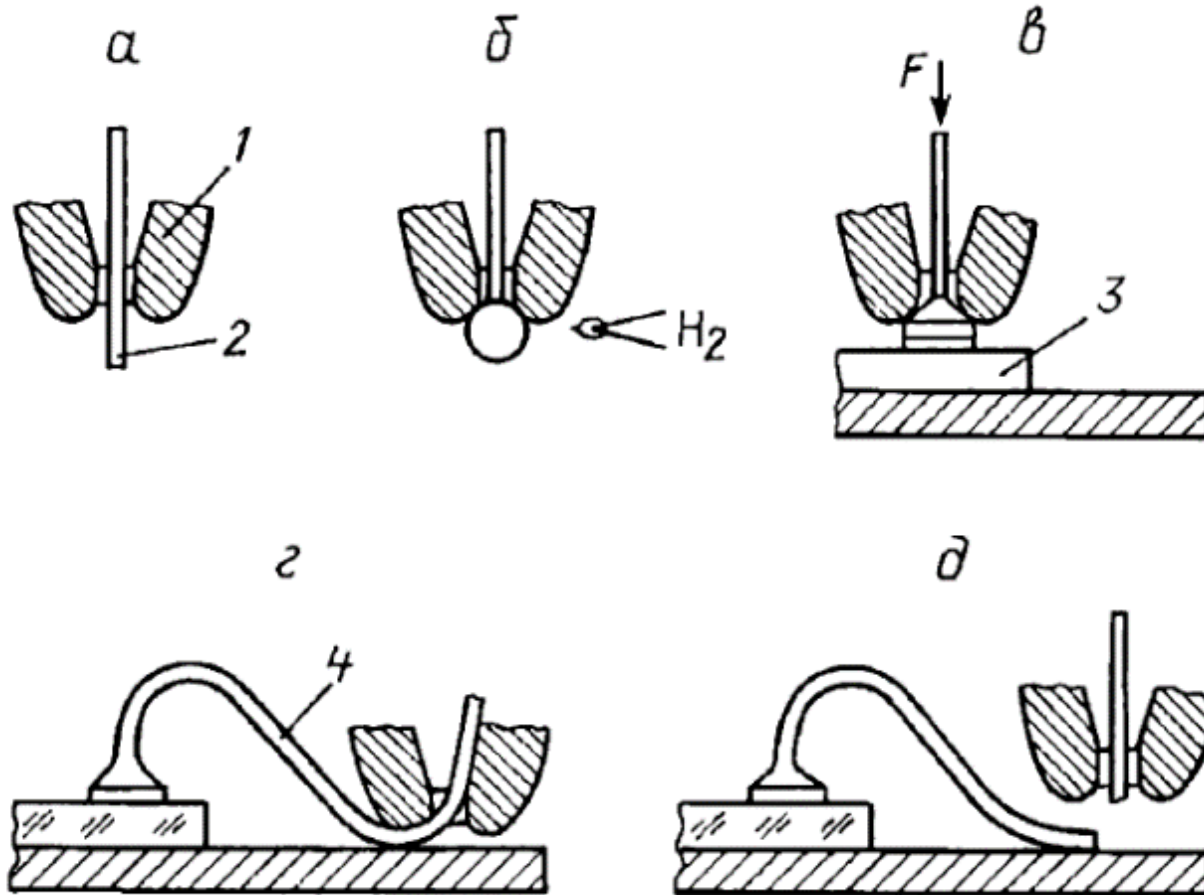
Проволочный монтаж остается одним из базовых методов сборки ИС, что объясняется высокой автоматизацией процесса, достаточной его универсальностью по отношению к различным технологическим вариантам производства и геометрическими размерами ИС. Соединение проволокой всегда выполняется после того, как ИС отсортированы из разделённой на кристаллы пластины, а кристалл смонтирован в корпусе. Данное соединение может быть выполнено золотой проволокой методом *термокомпрессии*, *ультразвуковым* и *термозвуковым* методами или алюминиевой проволокой ультразвуковым методом.

Поскольку соединение однородным металлом предпочтительнее, качество соединения алюминиевой проволоки с алюминиевой контактной площадкой выше, чем соединение золотой проволоки с алюминием. Кроме того, в системе "золото-алюминий" происходит формирование интерметаллической фазы ("пурпурная чума"). Главная проблема этой фазы – большое число вакансий, образующих трёхмерные полости.

Медь используют вместо золота для снижения стоимости, но она более жёсткая, а также быстро окисляется на воздухе, что осложняет процесс сварки и требует более сложного оборудования (для сварки в атмосфере инертного газа).



## КОНТАКТЫ: ПРОВОЛОЧНЫЙ МОНТАЖ



**Термозвуковая сварка** золотой проволоки методом шарика-клина:

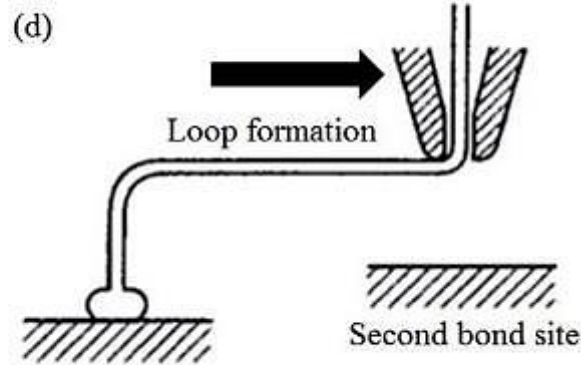
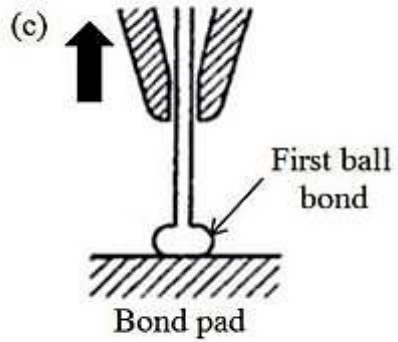
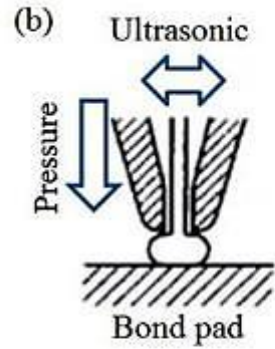
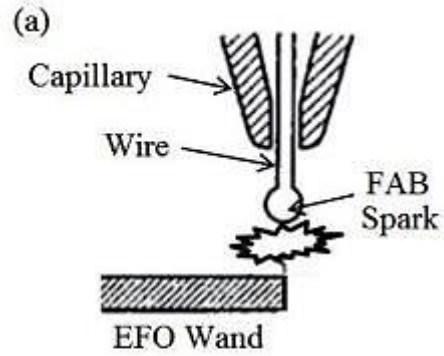
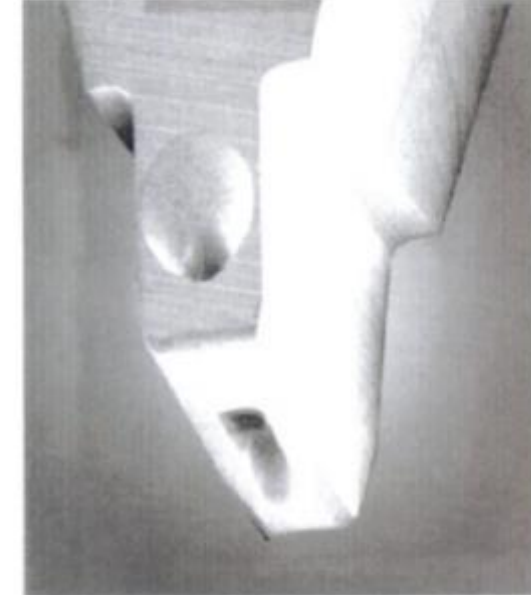
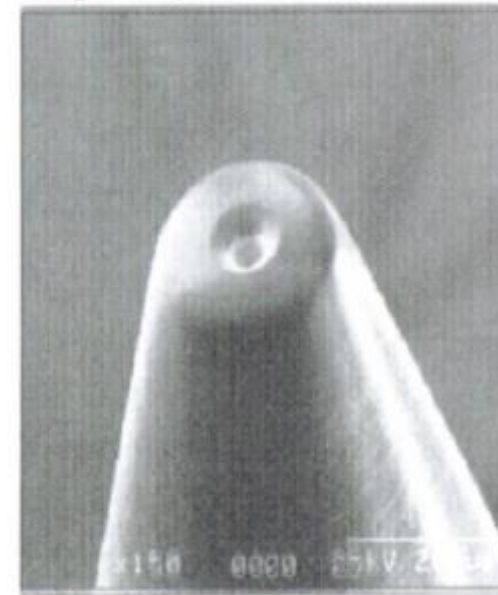
- а) золотая проволока (2) в капилляре (1);
- б) образование шарика с помощью водородной микрогорелки;
- в) соединение, выполненное путем одновременного приложения вертикальной нагрузки к шарiku и ультразвукового возбуждения материала проволоки;
- г) проволока согнута в петлю и присоединена клином;
- д) проволока оборвана

Обычно золотую проволоку соединяют методом шарика-клина, то есть шариком на контактной площадке кристалла и клином на подложке корпуса, тогда как алюминиевую проволоку - методом клина-клина. Одним из преимуществ метода шарика-клина является возможность выполнения соединения клином по дуге вокруг шарикового контакта.

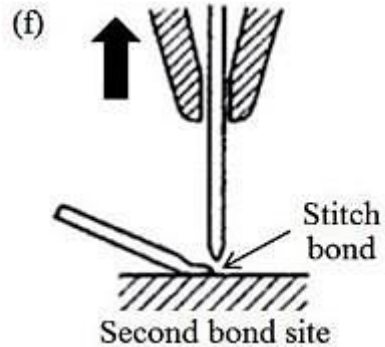
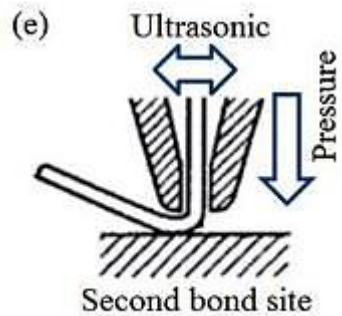
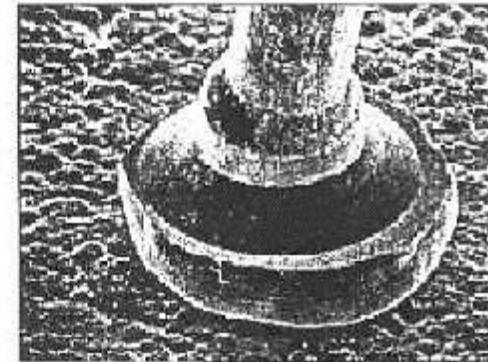
# КОНТАКТЫ: ПРОВОЛОЧНЫЙ МОНТАЖ

Capillary Bonding Tool

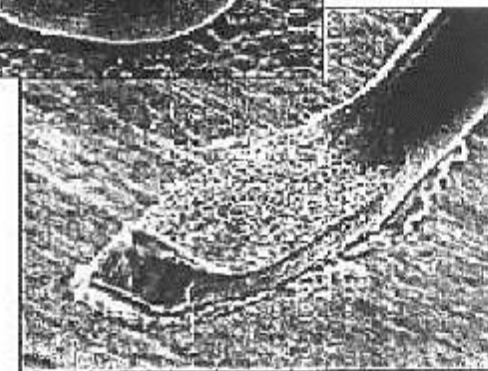
Wedge Bonding Tool



Gold Ball Bond



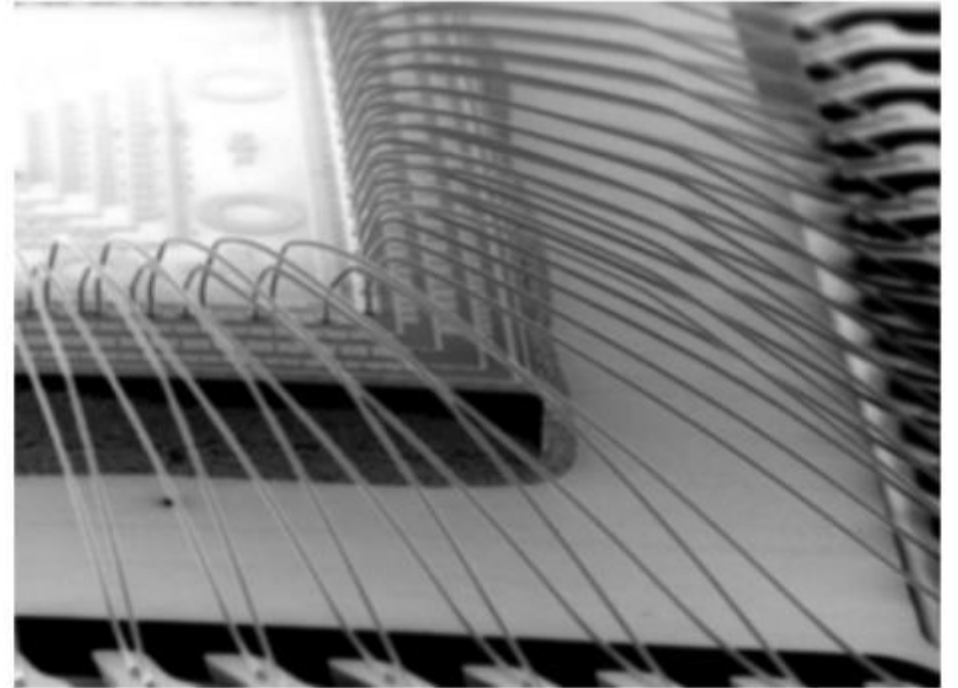
Aluminum Wedge Bond





## НЕДОСТАТКИ ПРОВОЛОЧНОГО МОНТАЖА

- трудность механизации процесса соединения
- высокая трудоемкость вследствие индивидуальных манипуляций вокруг каждой контактной площадки;
- ненадежность соединения вследствие натяжений в проволочке, возникающих при выполнении соединений и при последующем обволакивании в корпусе
- недостаточная прочность соединения при механических воздействиях на прибор вследствие достаточно большой массы проволочки.



Основным недостатком метода в том, что проволочные перемычки очень часто являются причиной отказов БИС. Вывод нередко разрушается у основания, где под действием сварочной головки происходит упрочнение проволочки наклепом, сопровождаемое образованием микротрещин.

Ключевыми параметрами при ультразвуковой и термозвуковой разварке являются усилие сварки, мощность и продолжительность ультразвукового импульса. Напрямую контролируруемыми параметрами являются внешний вид, усилие на отрыв (pull test) и усилие на сдвиг (shear test).

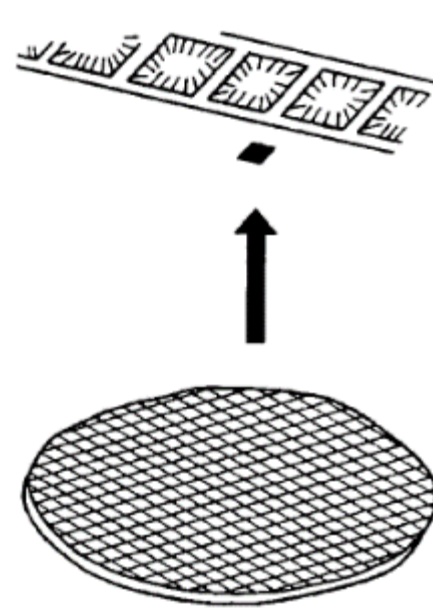


## КОНТАКТЫ: ЛЕНТОЧНЫЙ МОНТАЖ (MINIMOD)

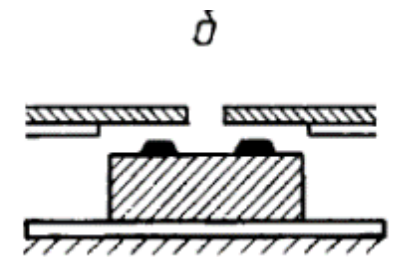
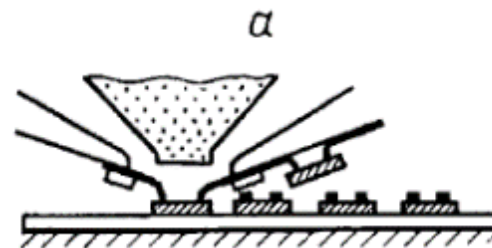
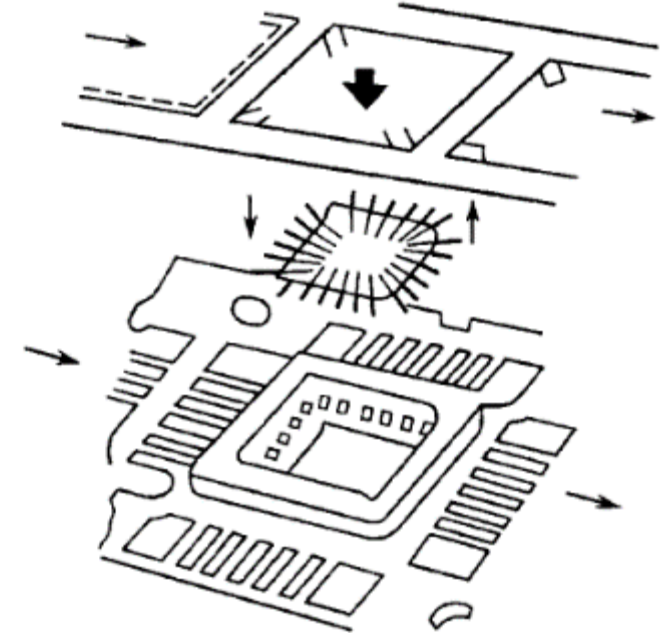
Отказ от проволоки и переход к плоским ленточным перемычкам позволяет изготовить их заранее и массово. Ленточные перемычки толщиной 70 мкм весьма гибкие, поэтому для сохранения их взаимной ориентации они удерживаются в заданном положении изолирующими перемычками (плёнкой) из полиимида. Изготовленные химическим вытравливанием медные лепестки ленты одновременно присоединяют к каждому выводному контакту кремниевого кристалла термокомпрессионной сваркой или эвтектикой на основе золота и олова.

Пленка с присоединенной к ней рамкой с выводами устанавливается непосредственно над рядом кристаллов. Сварочная головка опускается, приваривая одновременно все выводы к контактными площадкам. Производительность такого процесса более чем в 10 раз превышает производительность оборудования для приварки проволоочных перемычек. Кроме того, сами соединения являются ~ в 4 раза более прочными.

сборка кристалла на ленту-носитель



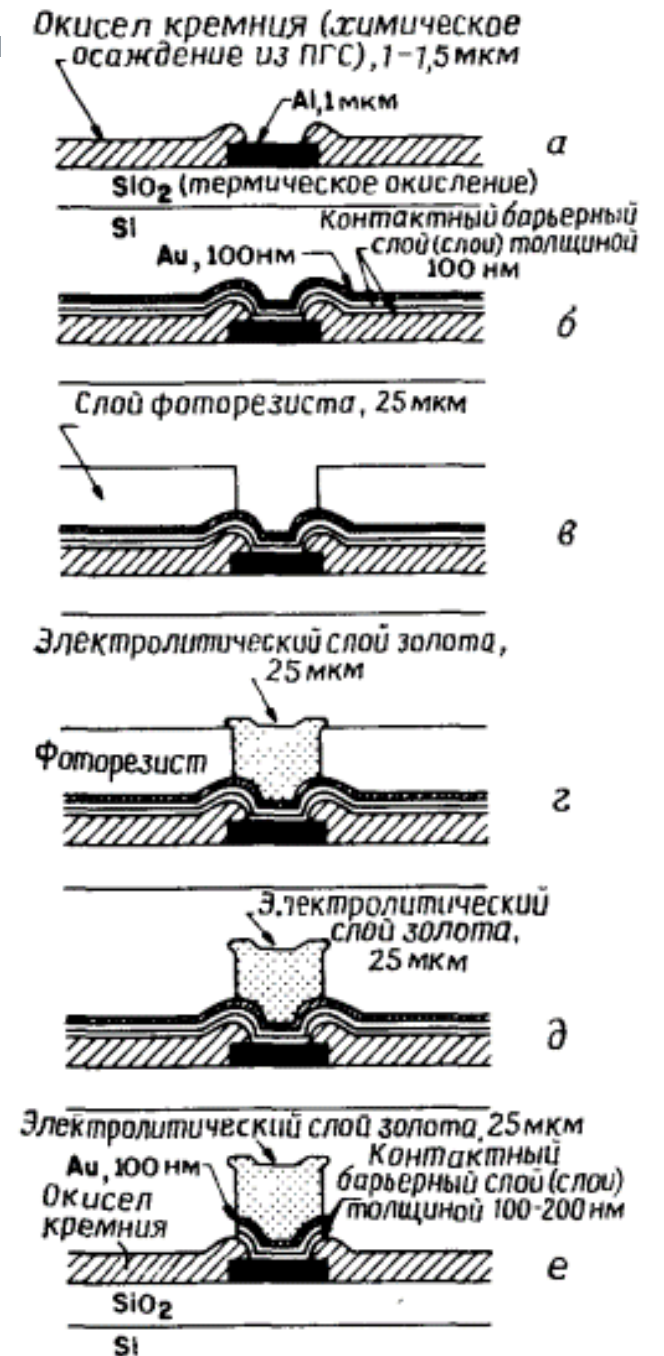
сборка кристалла с выводами на выводную рамку



## КОНТАКТЫ: ЛЕНТОЧНЫЙ МОНТАЖ

Двуслойная лента может быть изготовлена электрохимическим осаждением меди на полиимидную плёнку, либо литьём полиимидной плёнки на медь. Полиимидная составляющая делает эту ленту более жёсткой и обеспечивает локальную поддержку длинных соединительных лепестков. Более сложную технологию применяют для изготовления лент с контактными столбиками (метод трафаретной печати), при этом столбики на кристалле уже не нужны.

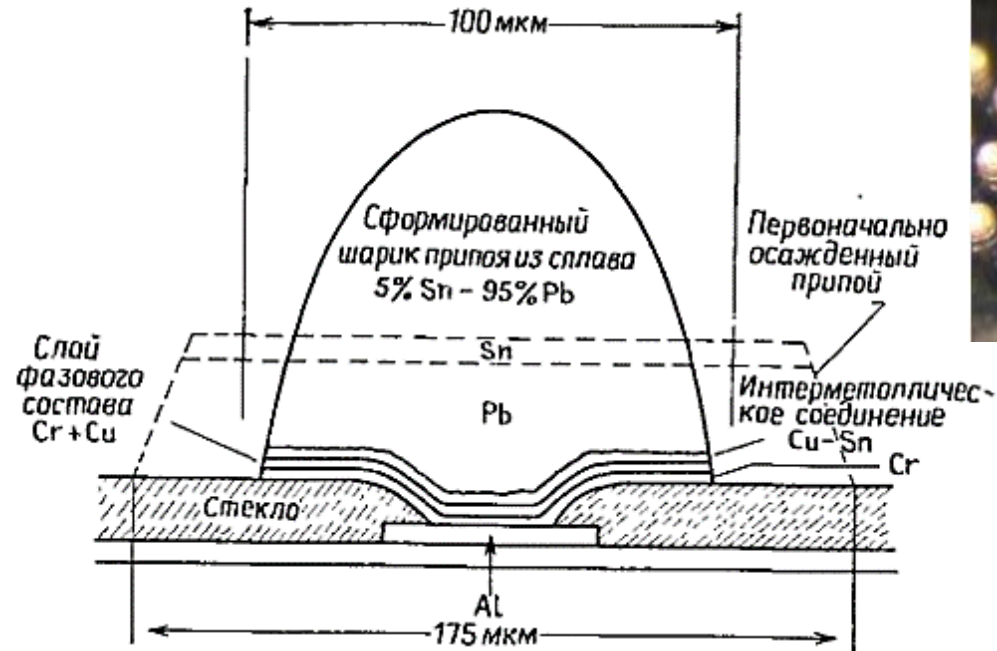
Метод групповой приварки плоских лент требует, чтобы на каждой контактной площадке кристалла имелся выступ высотой примерно 25 мкм. Эти выступы служат для присоединения рамки с выводами к кристаллу. Недостатком подобного метода является то, что в настоящее время он несколько дороже проволочного монтажа в связи с высокой стоимостью ленточных носителей из полиимидной пленки и более высокой стоимостью кристалла. Столбики формируют путём осаждения золота на алюминиевые контактные площадки.



# КОНТАКТЫ: ТЕХНОЛОГИЯ FLIP-CHIP

## Преимущества технологии сборки методом перевёрнутого кристалла:

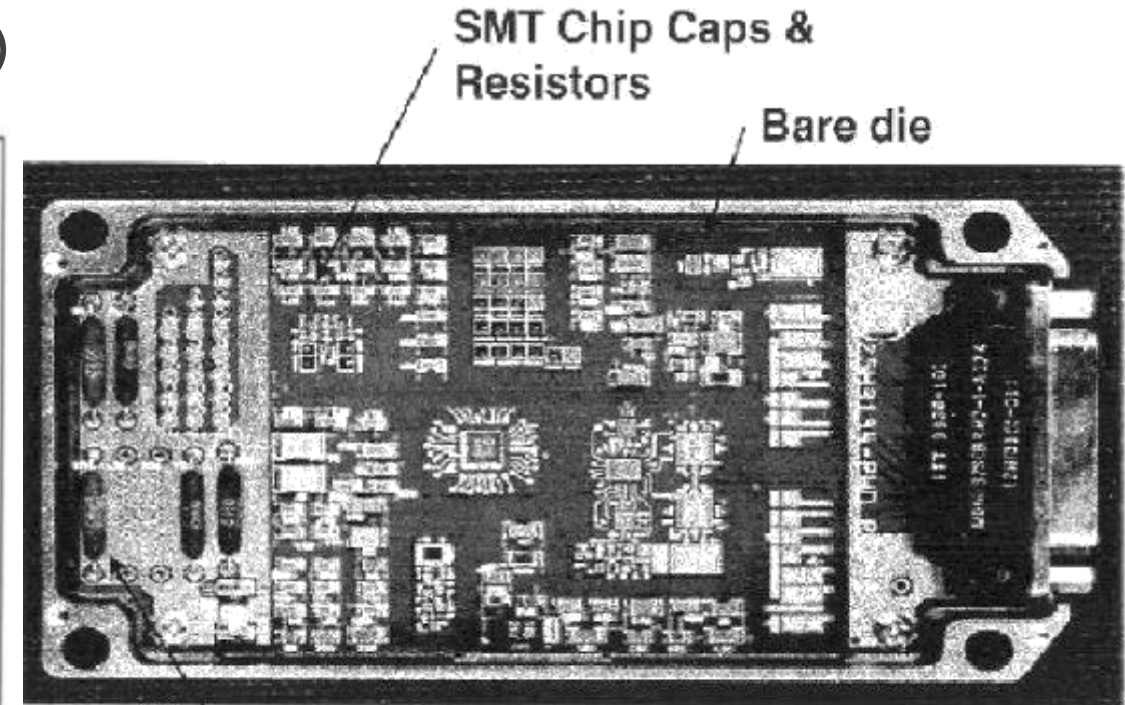
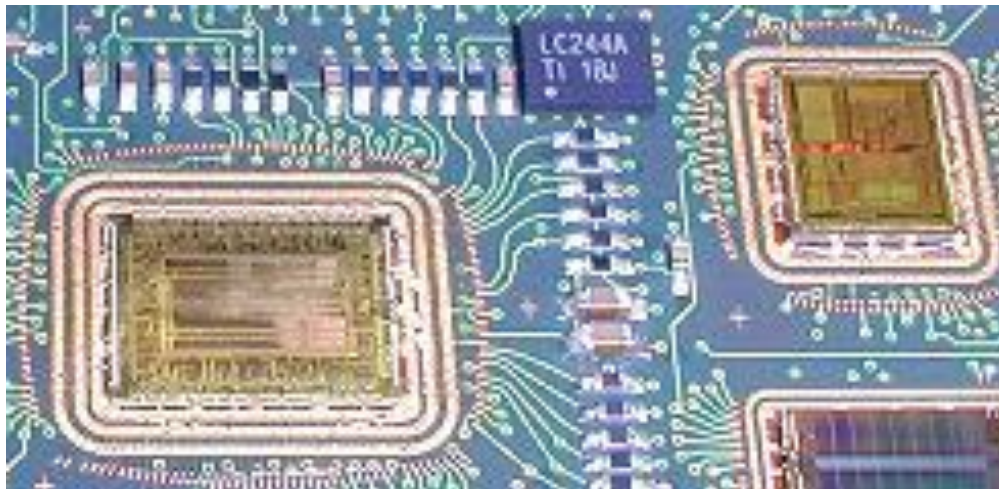
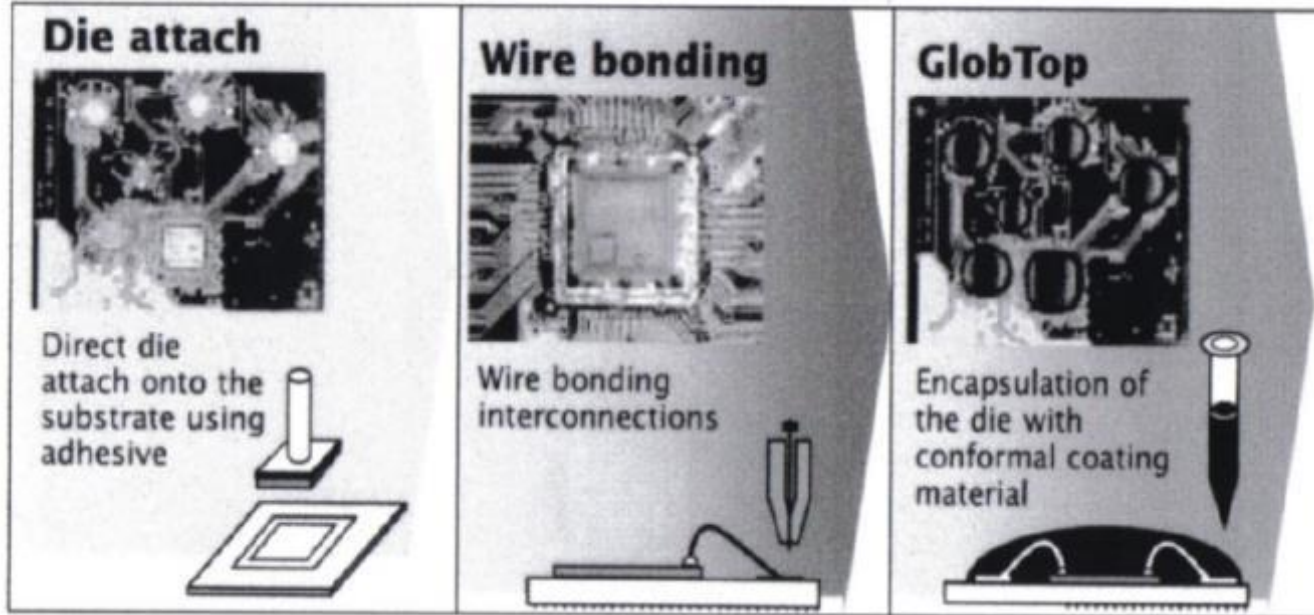
- Более равномерное распределение питания по кристаллу
- Лучший отвод тепла от кристалла
- Большая гибкость в выборе позиций размещения ячеек ввода-вывода по кристаллу
- Меньшая длина межсоединений, а, следовательно, более компактные размеры, меньшая ёмкость, более высокая производительность устройств



Возможны варианты столбиковых выводов



# КОМПОНОВКА DIRECT CHIP ATTACH (DCA)



Discrete Leded Components and Connectors

Chip on Board Assembly (COB)

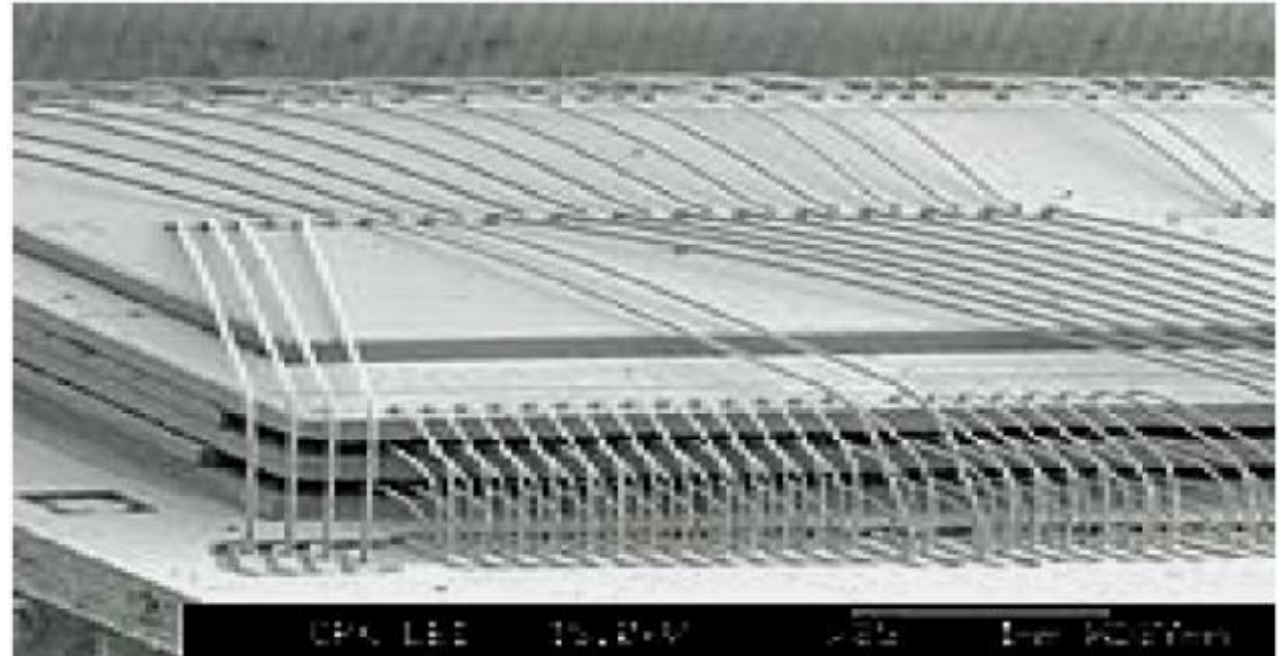
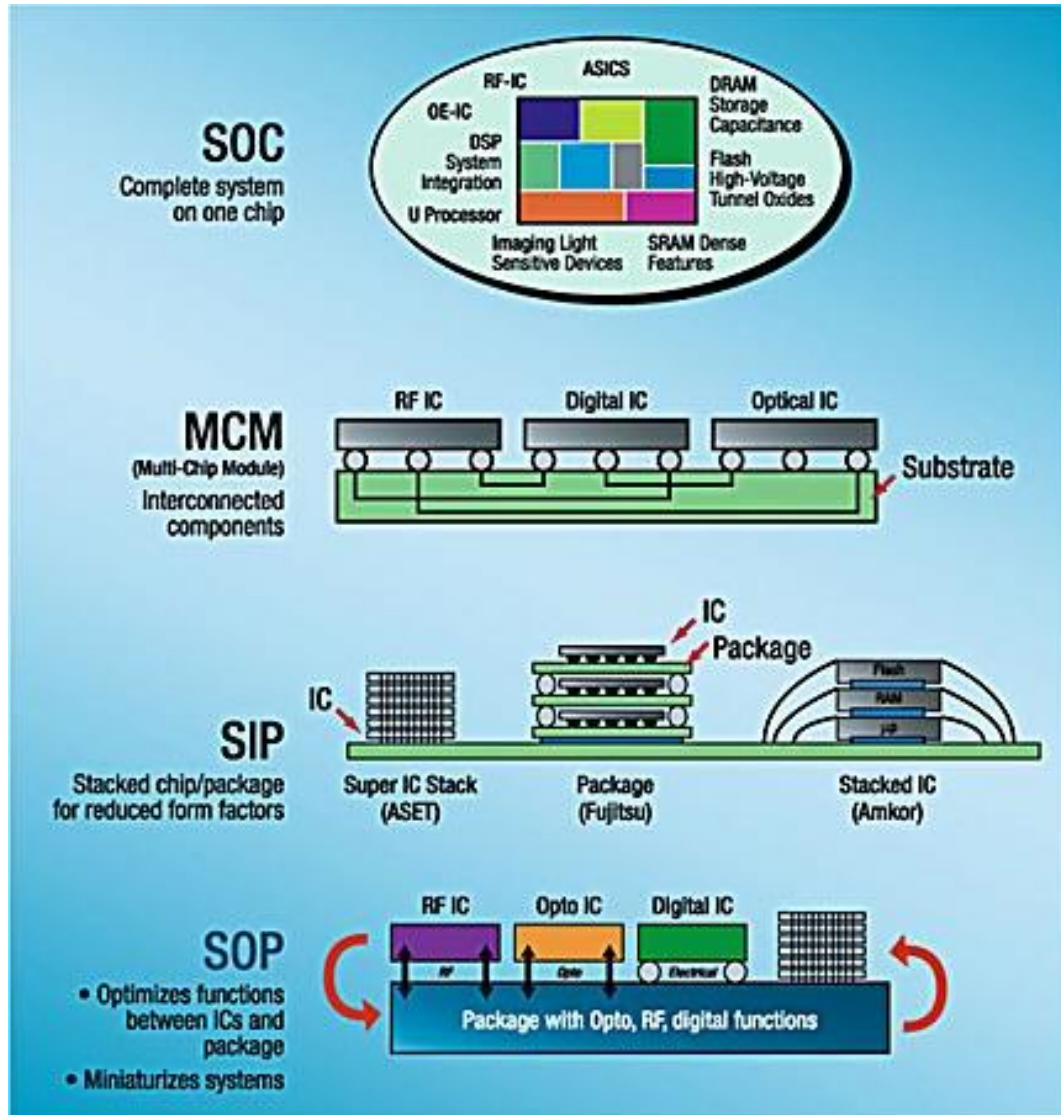
Encapsulants:

- Epoxy Resin
- Silicone resin
- Polyurethane resin
- Acrylic resin

Технология COB предлагает гибкий, недорогой и универсальный путь, альтернативный применению корпусов.



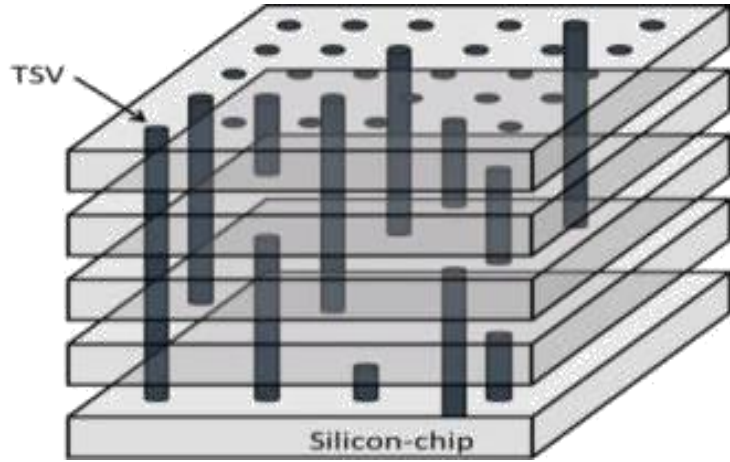
# МУЛЬТИ-КОМПОНОВКА



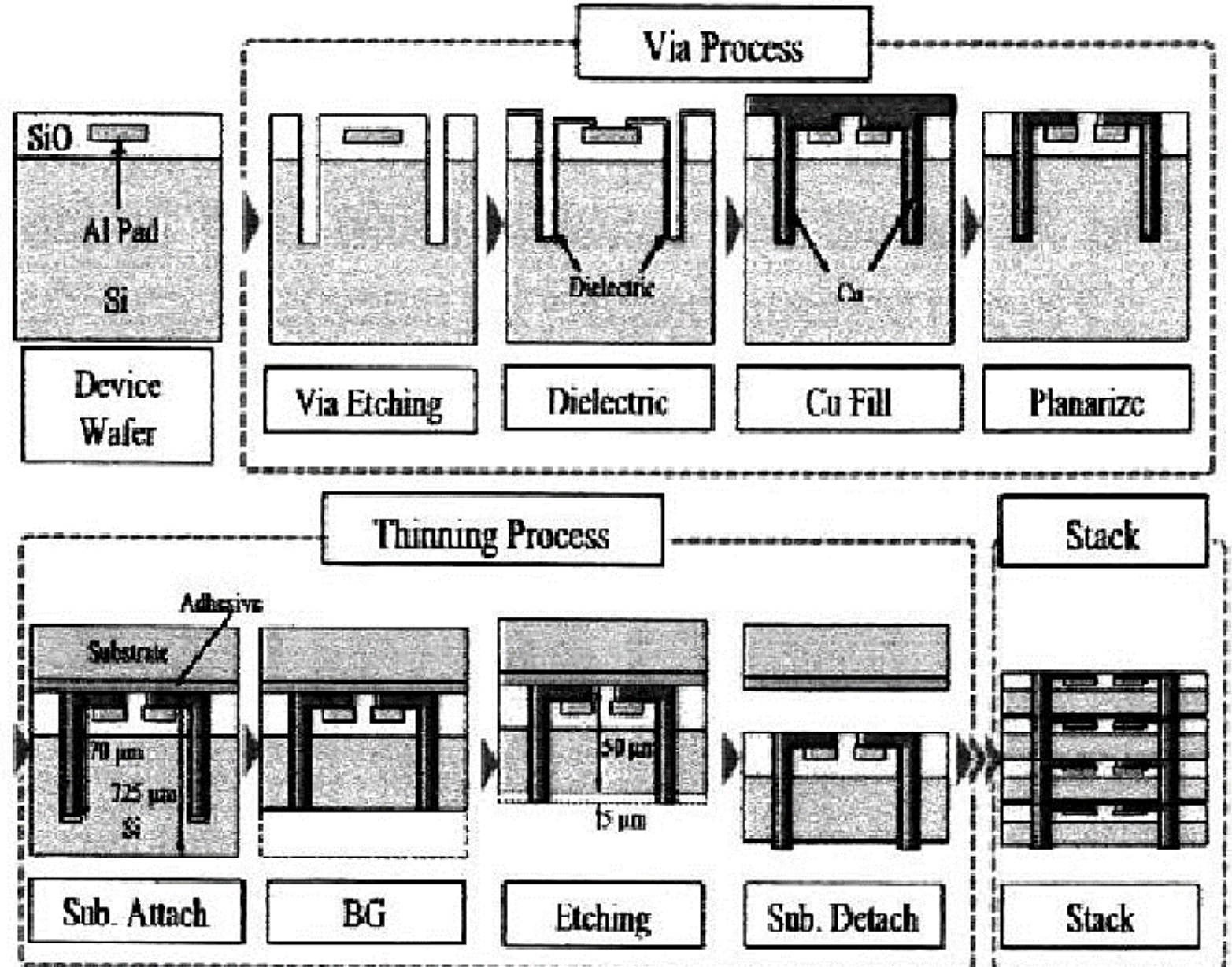
Если разместить весь функционал на одном полупроводниковом кристалле SoC не удаётся, применяется схема из нескольких кристаллов, помещённых в единый корпус (System in a package – SiP).

Увеличение плотности трехмерных ИС, которое становится возможным благодаря вертикальному размещению элементов, будет способствовать многократному сокращению затрат на производство по сравнению с традиционными 2D ИС при той же технологии производства.

# 3D КОМПОНОВКА



Использование технологии TSV (through silicon vias) позволило убрать операцию разварки из технологической цепочки, что обеспечило максимально возможный на сегодня уровень интеграции ИС. Соединение кристаллов обычно осуществляется "лицом к лицу", с помощью внутренних контактных площадок, представляющих собой слой медной металлизации.

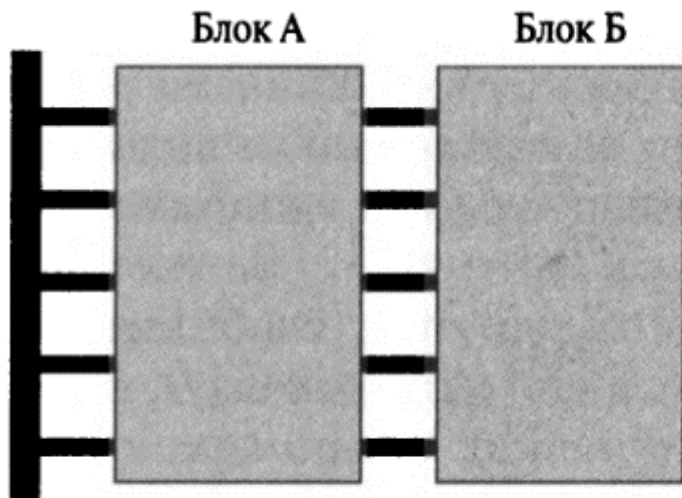




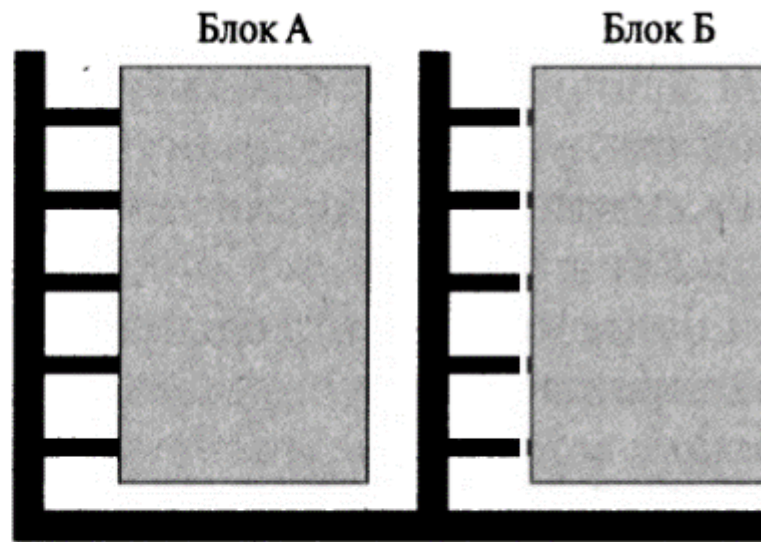
# ПРОБЛЕМЫ ЗАРЯДОПЕРЕНОСА

Требуется, чтобы на каждый клапан подавалось стабильное напряжение постоянного тока ( $2.5 \pm 0.1$  В).

При токе 100 А и напряжении 2.5 В сопротивление дорожки 0.00125 Ом приводит к 5% падению напряжения питания.

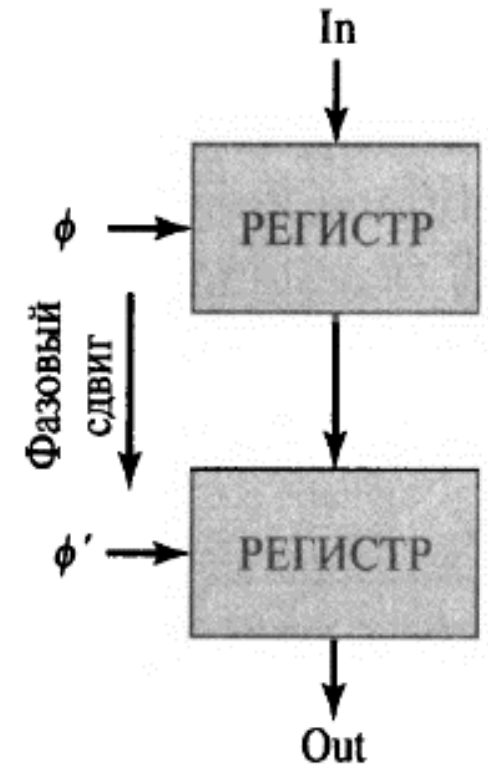


Трассировка сквозь блок  
а



Трассировка вокруг блока  
б

Фазовый сдвиг тактовых сигналов вследствие задержки, возникающей из-за различий в трассировке линий



СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ! LA FIN.



*Виталий Пикулев, 2021*  
*scilink.ru*