Лекция №11.

Тема: Проводниковые материалы в микроэлектронике

- *1. Основные требования, предъявляемые к материалам в микроэлектронике*
- *2. Металлизация*
- *3. Электродные материалы и их назначение*
- *4. Сплавы с высоким удельным сопротивлением. Керметы.*

Основные требования, предъявляемые к материалам в микроэлектронике

- - высокая проводимость;
- -проводимость не должна меняться со временем;
- -формирование омического контакта (линейная вольт-амперная характеристика);
- -высокая адгезия к подложке;
- -способность к бесфлюсовой пайке;
- -устойчивость к коррозии;
- -совместимость материалов коммутации и элементов, находящихся с ними в контакте

Металлизация

- **Требования, предъявляемые к металлизации чипа**

Желаемое свойство	Материалы, ***не*** удовлетворяющие требованию
Очень хорошая проводимость	Почти Ag, Cu
Высока температура эвтектики с Si (>800C было бы хорошо)	Au, Pd, Al, Mg
Низкая диффузия в Si	Cu, Ni, Li
Низкая скорость окисления, стабильный оксид	Тугоплавкие металлы, Mg, Fe, Cu, Ag
Высокая температура плавления	Al, Mg, Cu
Минимальное взаимодействие с Si подложкой	Pt, Pd, Rh, V, Ni , Mo, Cr (легко образуют силициды)
Минимальное взаимодействие с поли-Si	Тоже самое

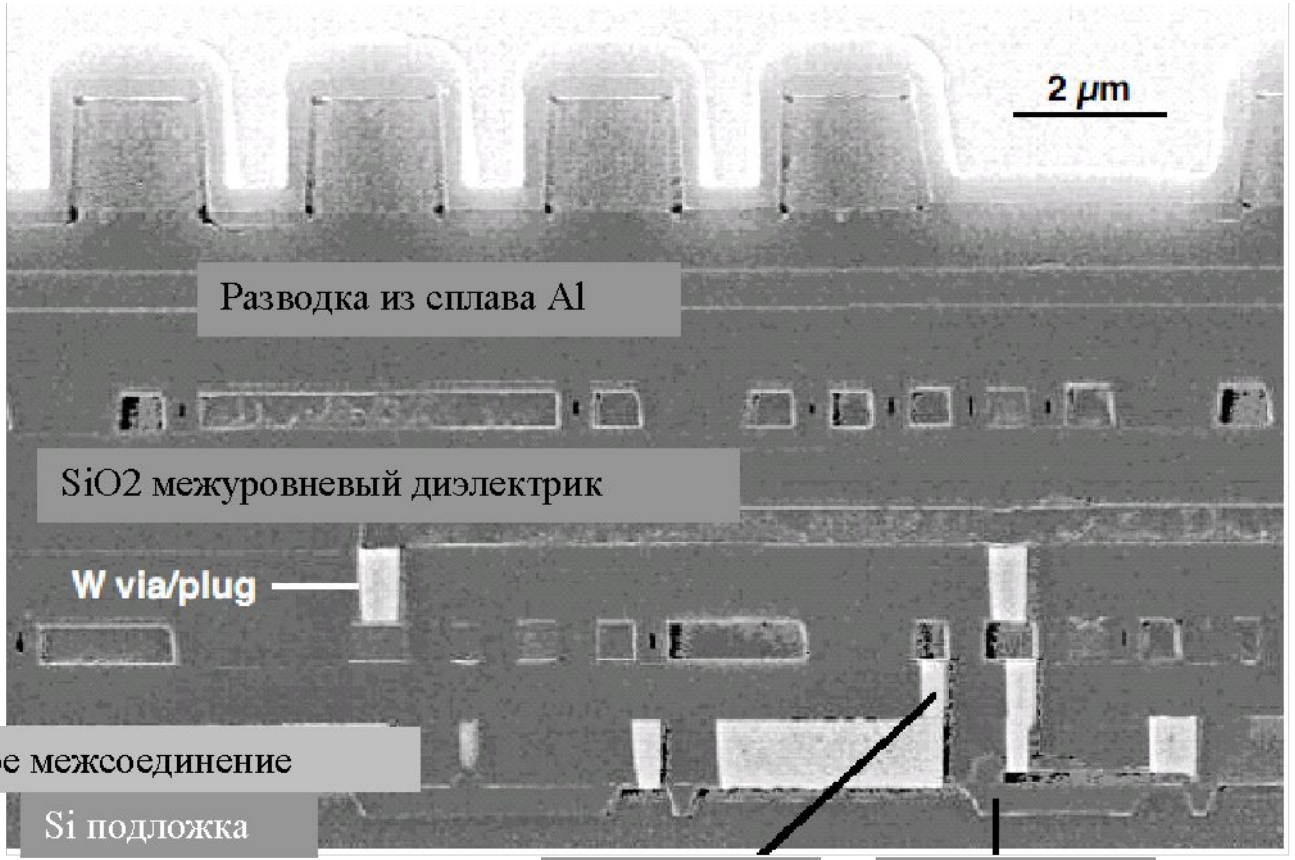
Продолжение таблицы

Желаемое свойство	Материалы, ***не*** удовлетворяющие требованию
Отсутствие взаимодействия с SiO_2	Hf, Zr, Ti, Ta, Nb, V. Mg, Al
Должен также совмещаться с другими подложками, TiN	
Химическая стойкость, особенно по отношению к HF	Fe, Co, Ni, Cu, Mg, Al
Легкое структурирование	Pt, Pd, Ni, Co, Au
Устойчивость к электромиграции	Al, Cu

Проводники для многоуровневых межсоединений

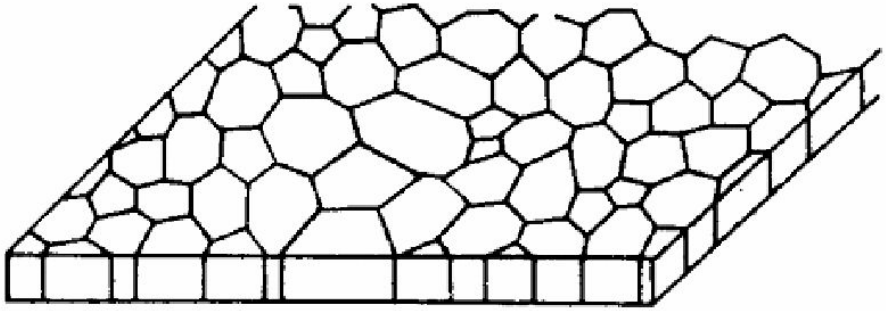
Материал	Уд. сопротивление тонкой пленки, мкОм · см	Температура плавления
Cu	1.7-2.0	1084
Al	2.7-3.0	660
W	8-15	3410
PtSi	28-35	1229
TiSi2	13-16	1540
WSi2	30-70	2165
CoSi2	15-20	1326
NiSi	14-20	992
TiN	50-150	2950
$Ti_{30}W_{70}$	75-200	2200
Поликремний	500-1000	1410

- **Поликремний** – для затворный электродов и очень коротких локальных межсоединений. Для уменьшения сопротивления сэндвичевой структуры полиSi-силицид.
- **Силициды** – для коротких локальных межсоединений, подвергаемых воздействию высоких температур и окислительной атмосферы
- **Тугоплвкие металлы** – сквозные отверстия и контактные переходы, затворные электроды, локальные межсоединения, требующие высокого сопротивления к электромиграции
- **TiN, TiW** – барьеры, антиотражательные покрытия, локальные межсоединения

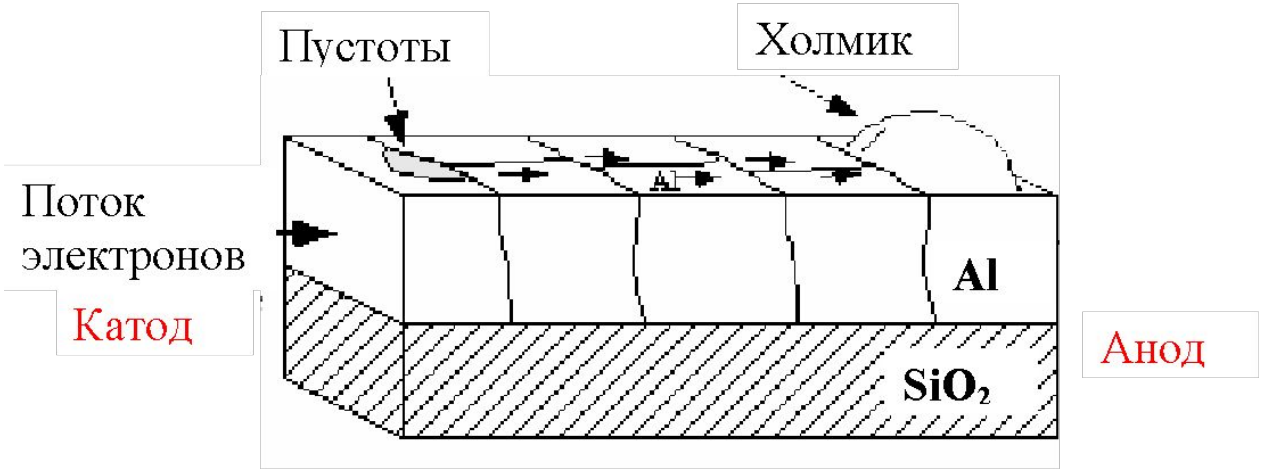


Микропроцессор фирмы Motorola с 5 уровнями Al металлизации

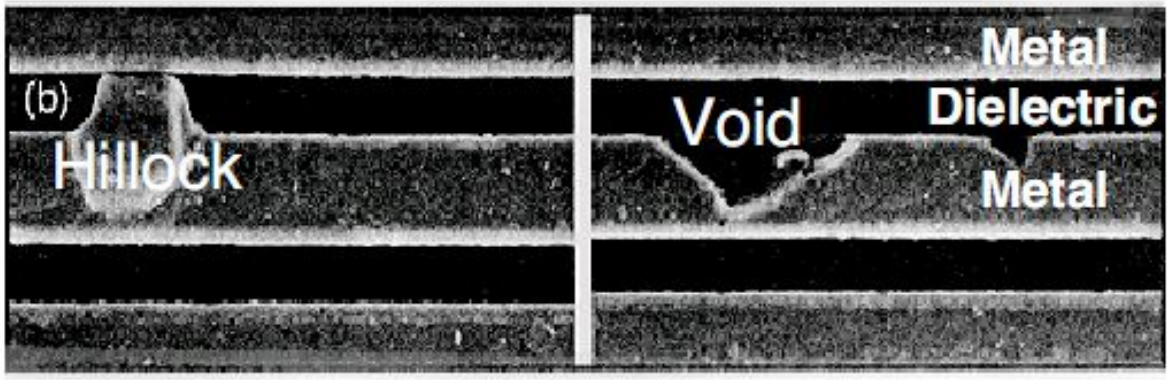
Электромиграция

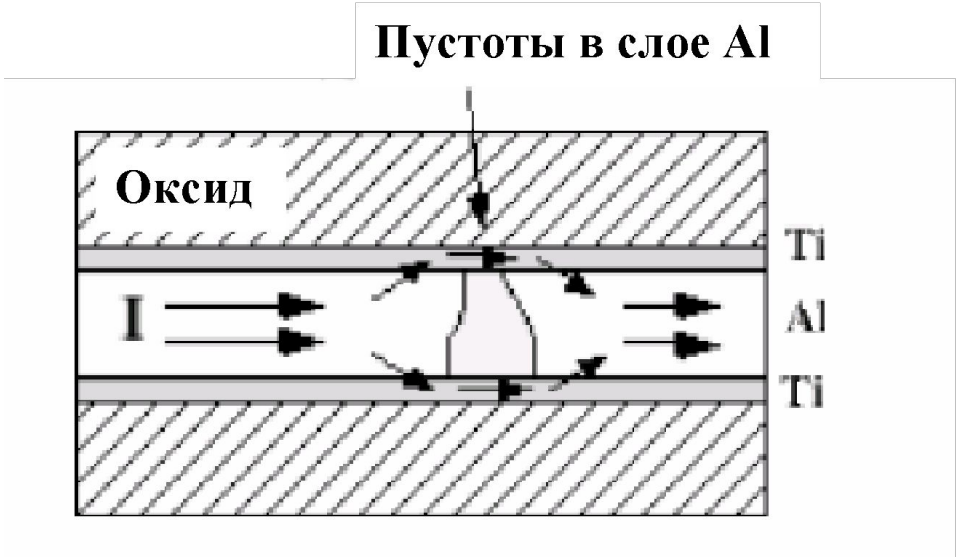


Пленка поликристаллического кремния

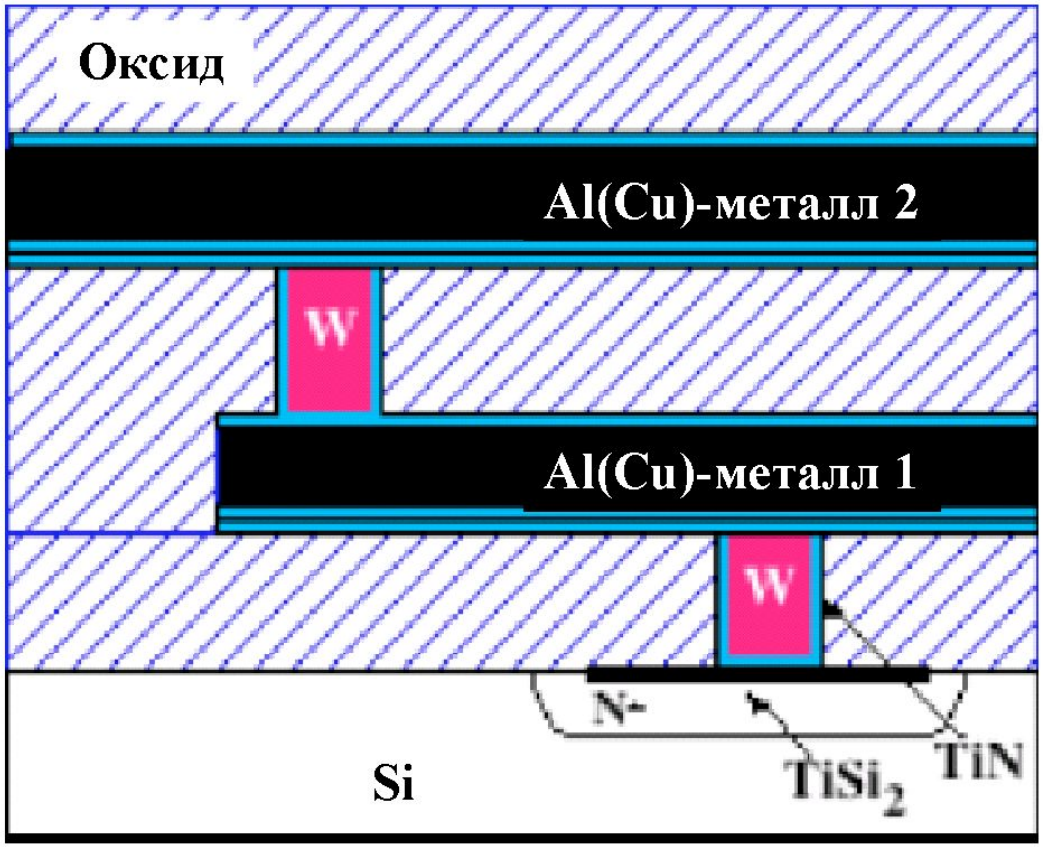


Формирование холмиков и пустот в результате электромиграции





Современная схема многоуровневой металлизации ИС



Электродные материалы и их назначение

- 1. ***Контакты***
- ***Омические контакты делятся на два типа: контакты, которые демонстрируют выпрямляющие ВАХ называются барьерами Шоттки, и контакты, которые демонстрируют линейные ВАХ – омические контакты.***
- ***Контакт является омическим, если падение напряжения на нем пренебрежимо мало в сравнении с падением напряжения на приборе.***

Требования, предъявляемые к контактным материалам:

- -малое контактное сопротивление (никогда не равно нулю);
- - никакого плавления при нагрузке;
- - никакого истирания при нагрузке;
- -никакого взаимного смешивания материалов;
- -никакого износа;
- -подходящие механические свойства, например, хорошая пластичность

Используемые материалы

- Cu, Ag, Au
- Ru, Rh, Pd, Os, Ir, Pt
- Mo, W

Резистивные материалы

- 1. Пленки тугоплавких металлов – **Ta, Cr, Re**
- 2. Высокорезистивные сплавы – манганин, константан, нихром;
- 3. Кремнийсодержащие сплавы – РС, МЛТ
- 4. Керметы – смеси порошков металлов (**Cr, Fe, Ni**) и оксидов (**SiO_2, TiO_2**)
- 5. Химические соединения – силициды
- 6. Резистивные композиции на основе углерода

Материалы и сплавы различного назначения

- 1. Сплавы для термопар;
- 2. Припои

Припои – специальные сплавы, применяемые для создания механически прочного шва или получения электрического контакта с малым переходным сопротивлением.

Мягкие припои – $T_{пл}$<400°С

Твердые припои – $T_{пл}$>500°С

- ***Назначение флюса***
- -растворяют и удаляют оксиды;
- - защищают поверхность пайки и припой от окисления;
- - уменьшают поверхностное натяжение припоя и и смачиваемость поверхности пайки;
- -улучшают растекаемость припоя.
- 1) бескислотные – канифоль со спиртом или глицерином;
- 2) активированные флюсы – канифоль с активаторами
- 3) анитикоррозийные флюсы на основе фосфорной кислоты;
- 4) специальные флюсы – для сварки и пайки алюминия

Основные свойства припоев

Тип припоя	Марка припоя	Состав припоя	$T_{пл}$, С	Соединяемые материалы
Оловянно-свинцовые	От ПОС-18, до ПОС-90	Sn-Sb-Pb	190-277	Медь и ее сплавы
Оловянно-свинцово-кадмиевые	ПОСК-47	Sn-Pb-Cd	145-180	Медь и ее сплавы, серебро
Оловянно-свинцово-серебряно-кадмиевые	ПСрК	Sn-Cd-Pb-Ag	225	Медь и ее сплавы, серебро
Оловянно--кадмиево-цинковые		Cu-Cd-Zn-Al	200-225	Алюминий и его сплавы

Сплавы с высоким удельным сопротивлением. Керметы.

- ***Резисторы.***
- Основные требования:
- - большой диапазон значений ***R*** (=сопротивление прибора в Омах) в рамках *одного* технологического процесса.
- -маленький (в идеале стремящийся к нулю) температурный коэффициент сопротивления
- - минимальный шум
- - малая зависимость ***ρ*** от параметров изготовления (хорошая воспроизводимость)
- - отсутствие старения
- - маленькие термоэлектрические коэффициенты по отношению к **Cu**

Тонкопленочные резисторы

- Требования, предъявляемые к материалу контактов тонкопленочных резисторов:
- ***Низкое слоевое сопротивление;***
- ***Устойчивость к коррозии;***
- ***Паяемая поверхность;***
- ***Адгезия к поверхности подложки;***
- ***Совместимость технологии формирования с другими пленочными компонентами.***

Выбор материала

- - Та, сплавы на основе Та и, в частности – константан (**55% Cu, 44% Ni, 1% Mn**), материал с особенно малым температурным коэффициентом сопротивления , но большим термоэлектрическим коэффициентом).
- -смеси проводников с изоляторами, включая керметы (сокращенно от керамика-металл), например, **Cr - SiO2**.

Омические контакты

- **AuGe/Ni/Au** в общем случае используется для омических контактов к **GaAs** *n*-типа.
- **Ni** - выполняет функцию диффузионного барьера
- ***n***-тип –**Pd-InP**; **Pd/Ge/Au-InP**; **Pd/Ge-InP**; **Pd/Ge-GaAs**
- *p*-тип - **Pd/Pt/Au/Pd-InGaP/GaAs;**
  - **Zn/Pd/Pt/Au-AlGaAs/GaAs;**
  - **Ti/Pt/Au-InGaAs**
  - **Ti/Pt-InGaAs**