

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, <i>не</i> удовлетворяющие требованию |
| Очень хорошая проводимость | Почти Ag, Cu |
| Высока температура эвтектики с Si (>800С 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 |

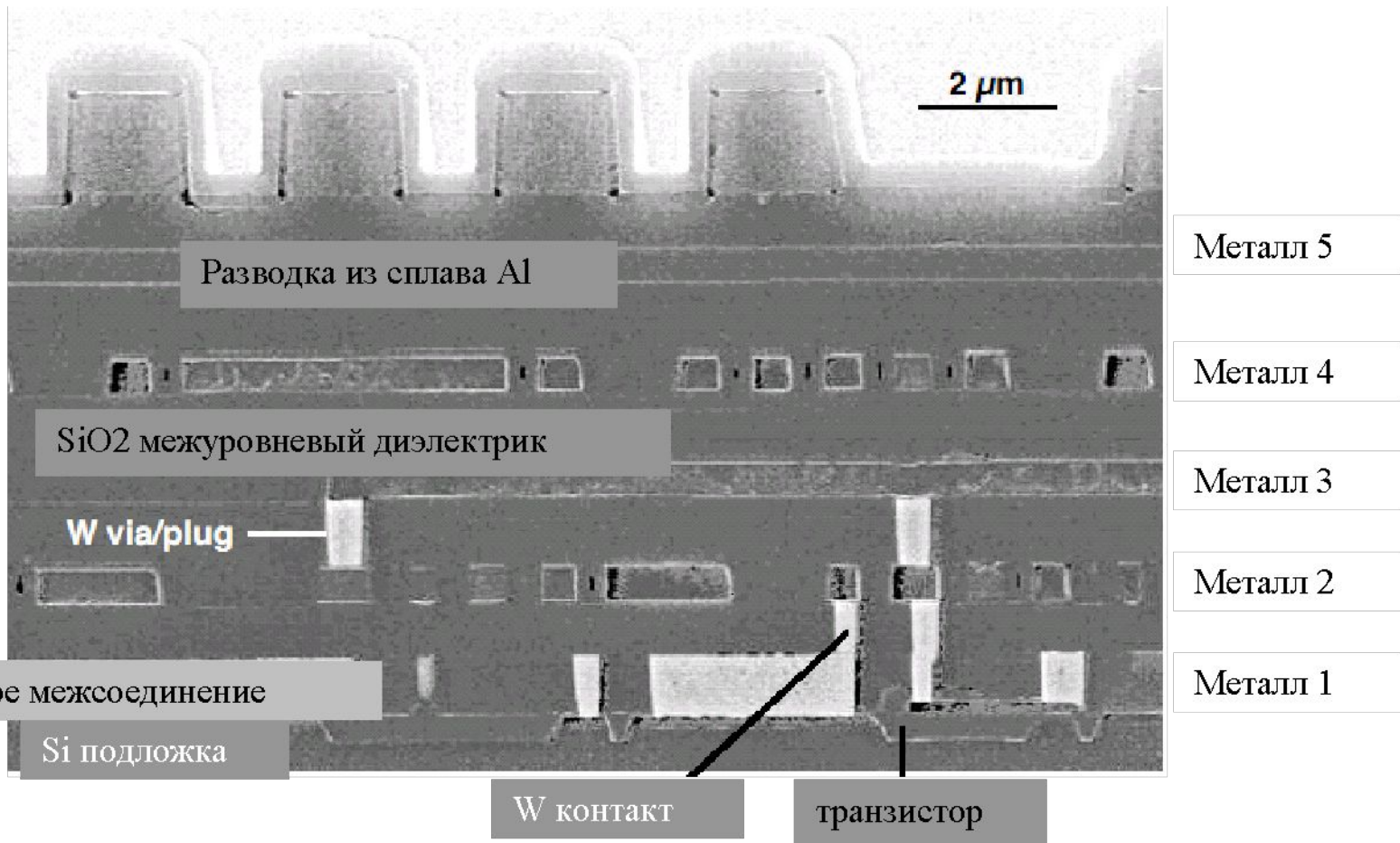
Продолжение таблицы

| | |
|--|---|
| Желаемое свойство | Материалы, <i>не</i> 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

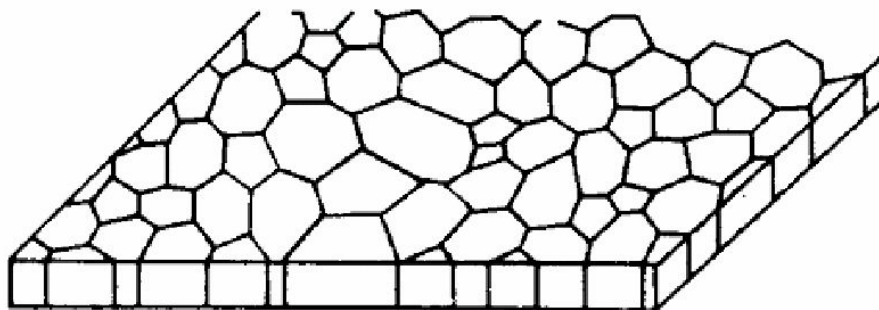
| Материал | Уд. сопротивление тонкой пленки, мкОм · см | Температура плавления |
|----------------------------------|---|--------------------------|
| Cu | 1.7-2.0 | 1084 |
| Al | 2.7-3.0 | 660 |
| W | 8-15 | 3410 |
| PtSi | 28-35 | 1229 |
| TiSi ₂ | 13-16 | 1540 |
| WSi ₂ | 30-70 | 2165 |
| CoSi ₂ | 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
- **Тугоплавкие металлы** – сквозные отверстия и контактные переходы, затворные электроды, локальные межсоединения, требующие высокого сопротивления к электромиграции
- **TiN, TiW** – барьеры, антиотражательные покрытия, локальные межсоединения

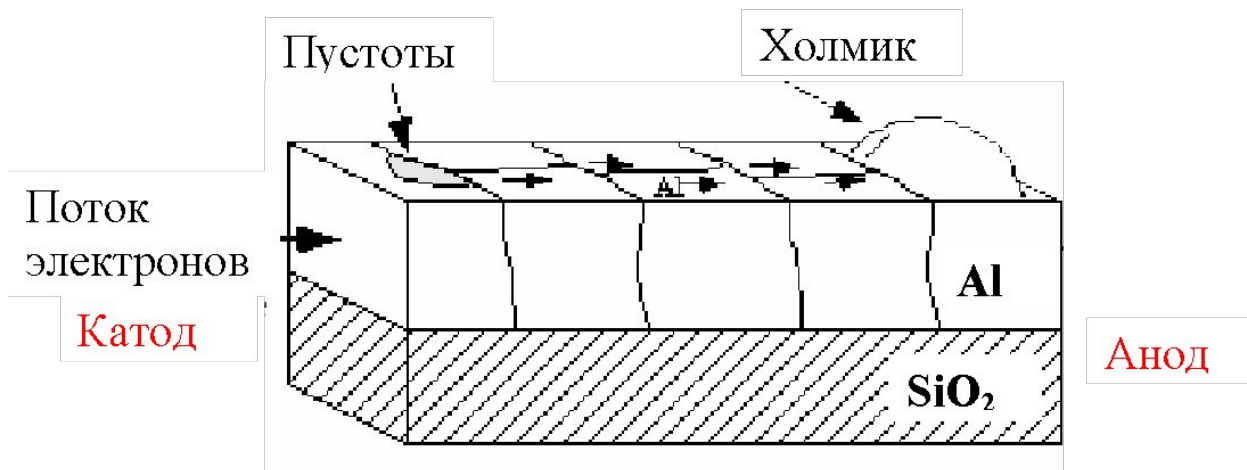


**Микропроцессор фирмы Motorola
с 5 уровнями Al металлизации**

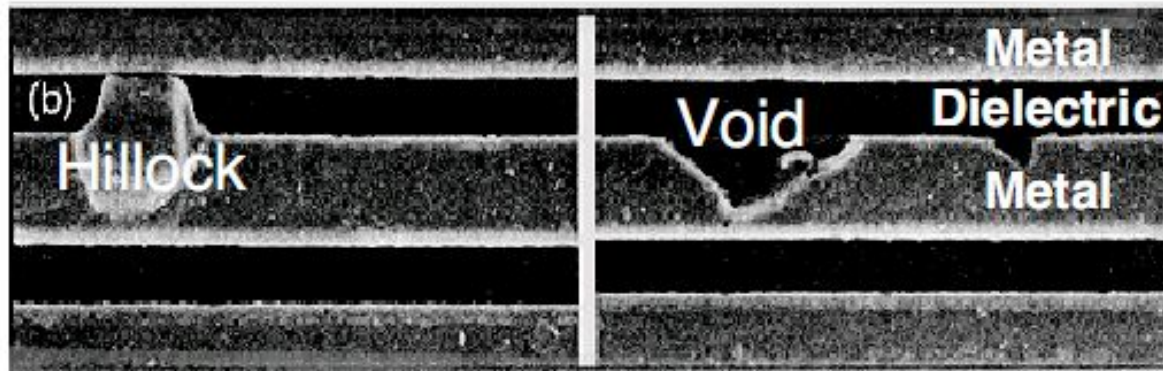
Электромиграция



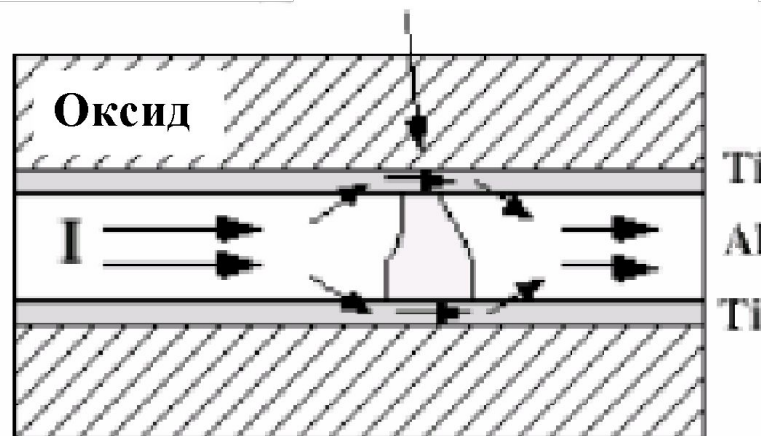
Пленка
поликристаллического
кремния



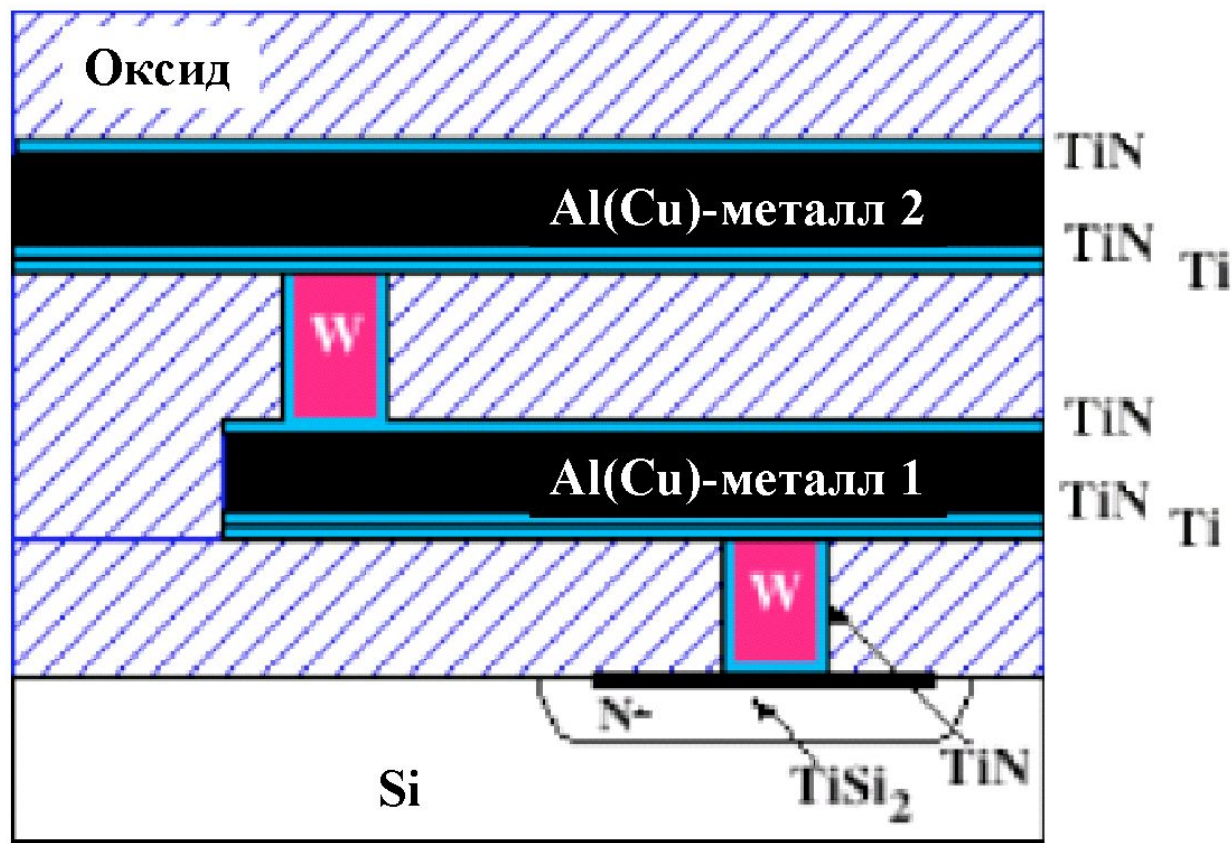
Формирование холмиков и пустот в результате электромиграции



Пустоты в слое Al



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 (**SiO₂, TiO₂**)
- 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 – $T_{пл} < 400^\circ\text{C}$

Твердые припои – $T_{пл} > 500^\circ\text{C}$

- *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**