



Technologie CMOS

Jiří Jakovenko – Struktury Integrovaných Systémů - A2M34SIS



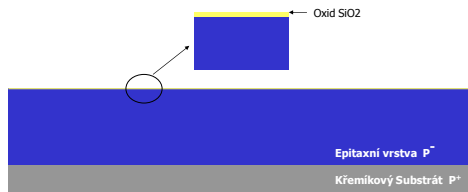
Více než 2 000 000 tranzistorů v 45nm technologii může být integrováno na plochu tečky za větu.

From The Oregonian, April 07, 2008

Jiří Jakovenko – Struktury integrovaných systémů - Katedra mikroelektroniky – ČVUT FEL

Technologie CMOS – Lokální oxidace

Růst termického oxidu: Velmi slabá vrstva SiO_2 (~200Å) zmenšuje mechanické pnutí mezi křemíkem a budoucí vrstvou nitridu.



Jiří Jakovenko – Struktury Integrovaných Systémů - A2M34SIS

Vytváření izolačních příkopů

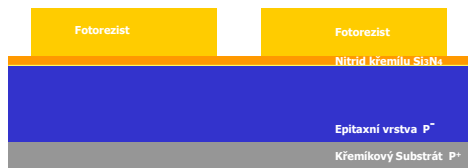
Depozice Nitridu: Vrstva nitridu (Si_3N_4) (~2500Å) je nanesena metodou CVD (Chemical Vapor Deposition). Má za úkol zabránit oxidaci mimo izolační příkopy.



Jiří Jakovenko – Struktury Integrovaných Systémů - A2M34SIS

Vytváření izolačních příkopů

Maska AKTIVNÍ OBLASTI - Nanesení Fotorezistu :
0.5 - 1.0 mikrometr silný



Jiří Jakovenko – Struktury Integrovaných Systémů - A2M34SIS

Vytváření izolačních příkopů

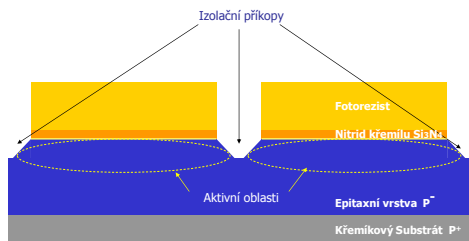
Odleptání Nitridu a Oxidu: Reaktivní iontové leptání (RIE)



Jiří Jakovenko – Struktury Integrovaných Systémů - A2M34SIS

Vytváření izolačních příkopů

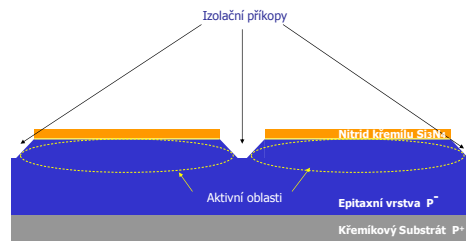
Leptání příkopů v křemíku: RIE – Tímto krokem se definují aktivní oblasti, kde budou tranzistory



Jiří Jakovenko – Struktury Integrovaných Systémů - A2M34SIS

Vytváření izolačních příkopů

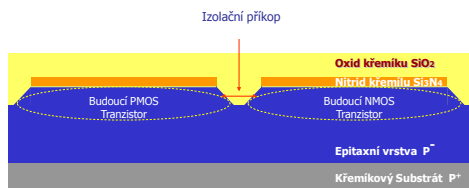
Odstanění fotorezistu:



Jiří Jakovenko – Struktury Integrovaných Systémů - A2M34SIS

Vytváření izolačních příkopů

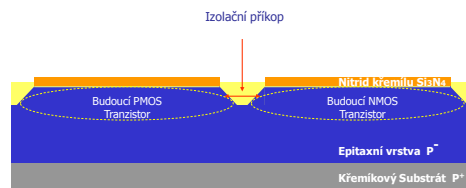
Růst izolačního oxidu: pomocí lokální oxidace nebo metodou CVD. Oxid plní funkci izolace mezi jednotlivými tranzistory.



Jiří Jakovenko – Struktury Integrovaných Systémů - A2M34SIS

Vytváření izolačních příkopů

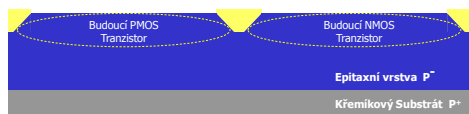
Odstanění oxidu: Oxid je odstraněn z povrchu chemicko-mechanickým (Chemical Mechanical Polish CMP). CMP je nastaven tak, že skončí na vrstvě nitridu.



Jiří Jakovenko – Struktury Integrovaných Systémů - A2M34SIS

Vytváření izolačních příkopů

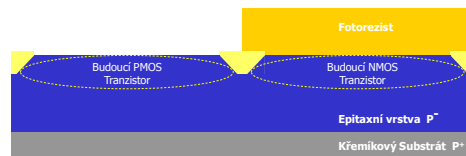
Odstanění Nitridu: Pomocí mokrého leptání v H_3PO_4 , vytvoříme izolační příkopy (Shallow Trench Isolation - STI)



Jiří Jakovenko – Struktury Integrovaných Systémů - A2M34SIS

Vytváření jámy N-

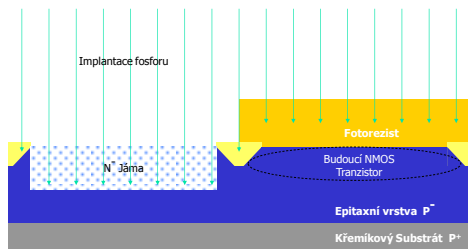
Maska N-Well: Nanesení silného fotorezistu, který zabraňuje implantaci příměsí do nežádoucích míst.



Jiří Jakovenko – Struktury Integrovaných Systémů - A2M34SIS

Vytváření jámy N-

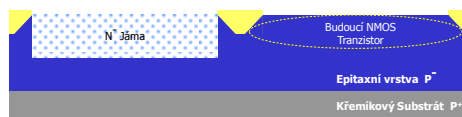
Implantace jámy N-: Fosfor je urychlován vysokou energií. Vytvoří se tak oblasti N- pro budoucí PMOS tranzistor.



Jiří Jakovenko – Struktury Integrovaných Systémů - A2M34SIS

Vytváření jámy N-

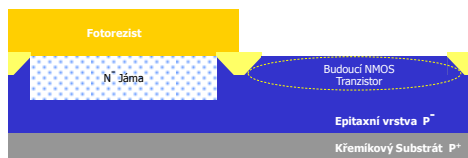
Odstanění fotorezistu:



Jiří Jakovenko – Struktury Integrovaných Systémů - A2M34SIS

Vytváření jámy P-

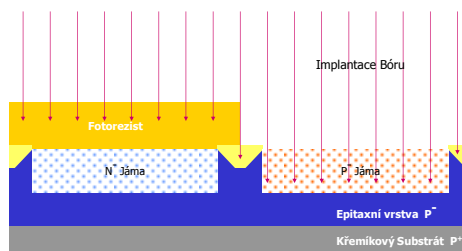
Maska P-Well: Nanesení a vyvolání fotorezistu pro oblasti jámy P-



Jiří Jakovenko – Struktury Integrovaných Systémů - A2M34SIS

Vytváření jámy P-

Implantace jámy P-: Bór je urychlován vysokou energií. Vytvoří se tak oblasti P- pro budoucí NMOS tranzistor.



Jiří Jakovenko – Struktury Integrovaných Systémů - A2M34SIS

Vytváření jámy P-

Odstanění fotorezistu



Jiří Jakovenko – Struktury Integrovaných Systémů - A2M34SIS

Vytváření jámy P- a N-

Rozdifundování příměsí: Tento vysokoteplotní krok zahájí proces difúze a zároveň odstraní poruchy v monokrystalu způsobené iontovou implantací..

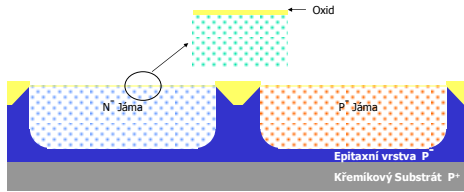


Jiří Jakovenko – Struktury Integrovaných Systémů - A2M34SIS



Vytváření termického oxidu – odstraní poruchy z povrchu

Růst oxidu zároveň s rozdífundováním: Tenká vrstva (~250 Å). Oxid má za účel odstranit poruchy z povrchu před nanášením hradlového oxidu



Jiří Jakovenko – Struktury Integrovaných Systémů - A2M34SIS



Odleptání oxidu

Odstranění „obětního“ oxidu: Oxid je odstraněn mokrým leptáním v HF. Po této operaci je povrch substrátu ideálně čistý a rovinný.



Jiří Jakovenko – Struktury Integrovaných Systémů - A2M34SIS



Vytváření hradlového oxidu

Růst hradlového oxidu: Toto je nejkritičtější technologický proces! Velice slabá vrstva (10-100Å) plní úlohu hradlového dielektrika obou tranzistorů. Musí být extrémně čistý a jeho tloušťka se může lišit +/- 1Å.

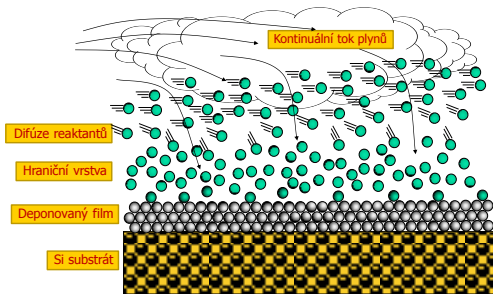


Jiří Jakovenko – Struktury Integrovaných Systémů - A2M34SIS



Chemické nanášení CVD

- $\text{SiH}_4(\text{plyn}) + \text{O}_2(\text{plyn}) \rightarrow \text{SiO}_2(\text{pevný}) + 2\text{H}_2(\text{plyn})$
- $\text{SiH}_4(\text{plyn}) + \text{H}_2(\text{plyns}) + \text{SiH}_2(\text{plyn}) \rightarrow 2\text{H}_2(\text{plyn}) + \text{PolySilicon}(\text{pevný})$



Jiří Jakovenko – Struktury Integrovaných Systémů - A2M34SIS



Formování hradel

Depozice Polysiliconu: Polykrystalický křemík je nanášen metodou CVD 1500-3000 Å.

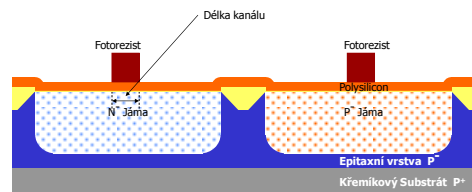


Jiří Jakovenko – Struktury Integrovaných Systémů - A2M34SIS



Formování hradel

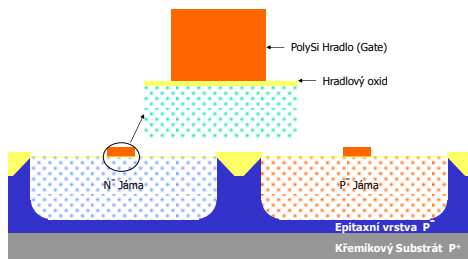
Maska POLYSL: Definuje oblasti hradel obou tranzistorů. **Spolu s hradlovým oxidem to je nejkritičtější technologický krok!** Definuje rozměr délky kanálu tranzistorů.



Jiří Jakovenko – Struktury Integrovaných Systémů - A2M34SIS

Formování hradel

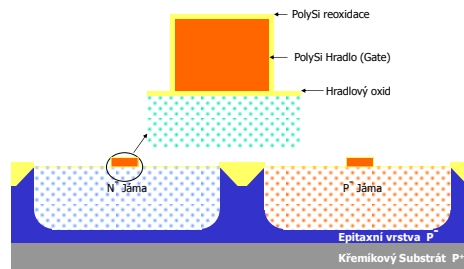
Odleptání Polysiliconu a odstranění fotorezistu: Metodou RIE (Reactive Ion Etching). Tímto je ukončeno formování hradel.



Jiří Jakovenko – Struktury Integrovaných Systémů - A2M34SIS

Formování hradel

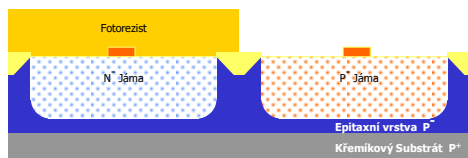
Oxidace polysiliconu: Tenká vrstva oxidu slouží k oddělení hradel a následně vrstvy nitridu. Důležité kuli mechanickému přizpůsobení.



Jiří Jakovenko – Struktury Integrovaných Systémů - A2M34SIS

Formování difúzních oblastí pro source a drain

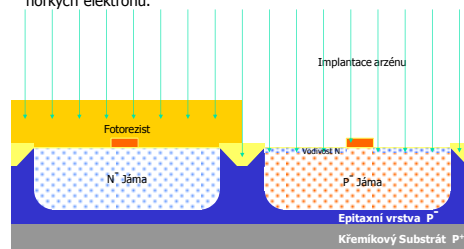
Maska N-diff: Vykrytí iontové implantace pro N oblasti



Jiří Jakovenko – Struktury Integrovaných Systémů - A2M34SIS

Formování difúzních oblastí pro source a drain

Implantace pro NMOS Transistor: Velice mělká (malá energie) implantace většinou iontů arzenu. Tímto krokem se formuje hrot tzv. LDD (Lightly Doped Drain) struktury. Redukuje efekt horkých elektronů.



Jiří Jakovenko – Struktury Integrovaných Systémů - A2M34SIS

Formování difúzních oblastí pro source a drain

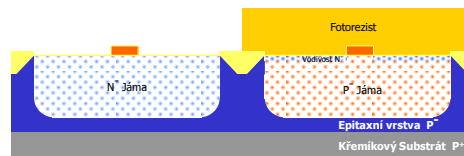
Odstranění fotorezistu:



Jiří Jakovenko – Struktury Integrovaných Systémů - A2M34SIS

Formování difúzních oblastí pro source a drain

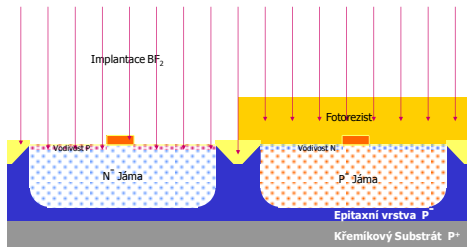
Maska P-diff: Vykrytí iontové implantace pro P oblasti



Jiří Jakovenko – Struktury Integrovaných Systémů - A2M34SIS

Formování difúzních oblastí pro source a drain

Implantace pro PMOS Tranzistor: Velice mělká (malá energie) implantace BF₂. Tímto krokem se formuje hrot tzv. LDD (Lightly Doped Drain) struktury. Redukuje efekt horkých elektronů.



Jiří Jakovenko – Struktury Integrovaných Systémů - A2M34SIS

Formování difúzních oblastí pro source a drain

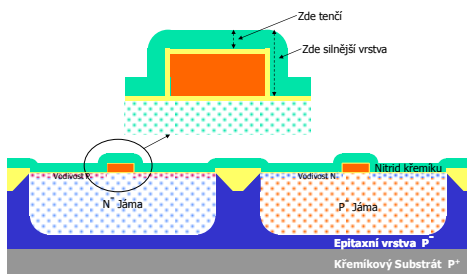
Odstanění fotorezistu



Jiří Jakovenko – Struktury Integrovaných Systémů - A2M34SIS

Formování difúzních oblastí pro source a drain

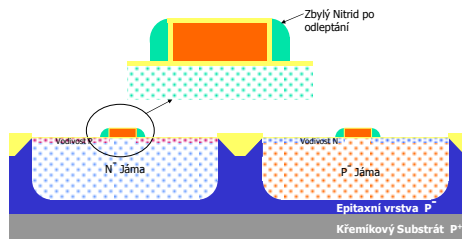
Depozice Nitridu: CVD 1200-1800A. Slouží k vymaskování LDD struktury



Jiří Jakovenko – Struktury Integrovaných Systémů - A2M34SIS

Formování difúzních oblastí pro source a drain

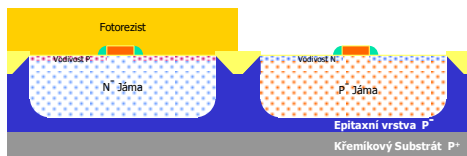
Leptání Nitridu – formování postraních maskovacích stěn: Pomocí RIE je Nitrid vertikálně odleptáván na jeho tloušťku, takže po leptání zůstanou boční stěny. Ty slouží jako maska pro implantaci oblastí source a drainu.



Jiří Jakovenko – Struktury Integrovaných Systémů - A2M34SIS

Formování difúzních oblastí pro source a drain

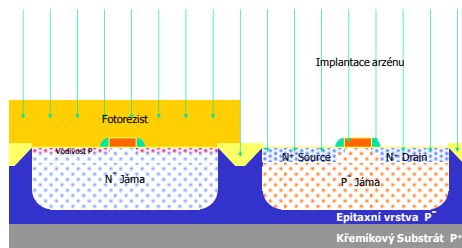
Maska N-diff: Vykrytí iontové implantace pro N+ oblasti



Jiří Jakovenko – Struktury Integrovaných Systémů - A2M34SIS

Formování difúzních oblastí pro source a drain

Implantace pro NMOS Tranzistor: Mělká (malá energie) implantace většinou iontů arzénu. Velká dávka. Tímto krokem se formuje LDD (Lightly Doped Drain) struktura, která redukuje efekt horkých elektronů.

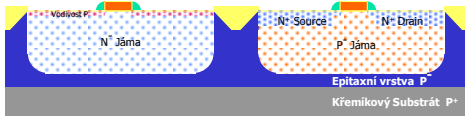


Jiří Jakovenko – Struktury Integrovaných Systémů - A2M34SIS



Formování difúzních oblastí pro source a drain

Odstranění fotorezistu:

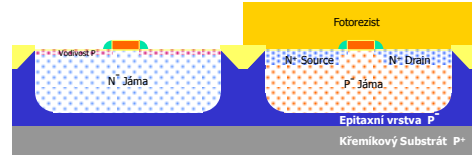


Jiří Jakovenko – Struktury Integrovaných Systémů - A2M34SIS



Formování difúzních oblastí pro source a drain

Maska P-diff: Vykrytí iontové implantace pro P+ oblasti

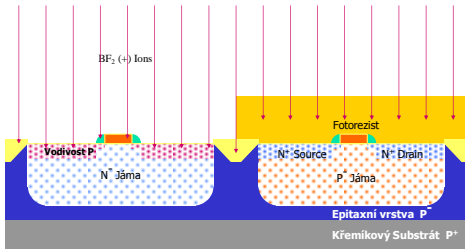


Jiří Jakovenko – Struktury Integrovaných Systémů - A2M34SIS



Formování difúzních oblastí pro source a drain

Implantace pro NMOS Transistor: Mělká (malá energie) implantace většinou iontů BF₂. Velká dávka. Tímto krokem se formuje LDD (Lightly Doped Drain) struktura, která redukuje efekt horkých elektronů.

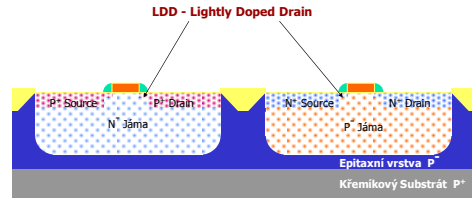


Jiří Jakovenko – Struktury Integrovaných Systémů - A2M34SIS



Formování difúzních oblastí pro source a drain

Odstranění fotorezistu a rozdifundování: Tímto krokem jsou elektronické součástky hotové. Zbývá vytvořit metalizační propojení.

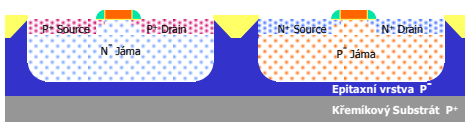


Jiří Jakovenko – Struktury Integrovaných Systémů - A2M34SIS



Odleptání oxidu

Odleptání oxidu: Rychlé ponoření do roztoku HF.



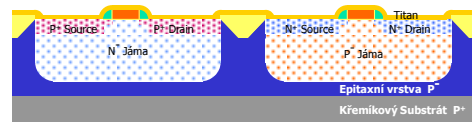
Jiří Jakovenko – Struktury Integrovaných Systémů - A2M34SIS



Nanášení silicidů

Depozice Titanu: Tenká vrstva (200-400Å) je nanášena na celou plochu substrátu.

Silicidy formují vlastnosti přechodu kov-polovodič a hlavně zabraňují difundování kovových atomů metalizace do aktivních oblastí polovodiče

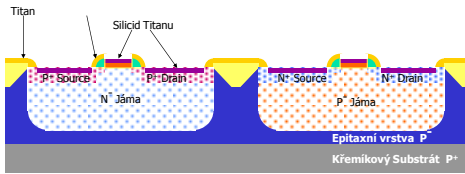


Jiří Jakovenko – Struktury Integrovaných Systémů - A2M34SIS



Nanášení silicidů

Formování silicidu Titanu: Rychlý teplotní ohřev (800 stupňů) v Dusíku nastartuje reakci titanu a křemíku. Vytvoří se tak silicid Titanu. V ostatních oblastech zůstane původní vrstva Titanu beze změny. Tento technologický krok vytvoří tzv. Self-Aligned Silicid.

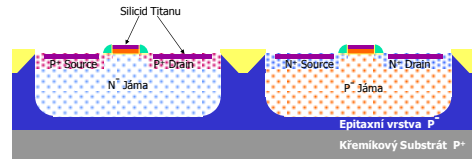


Jiří Jakovenko – Struktury Integrovaných Systémů - A2M34SIS



Nanášení silicidů

Odeptání Titanu: Pomocí mokrého leptání $\text{NH}_4\text{OH} + \text{H}_2\text{O}_2$, TiSi_2 silicid zůstává a tvoří ohmický kontakt mezi křemíkem a metalizací.

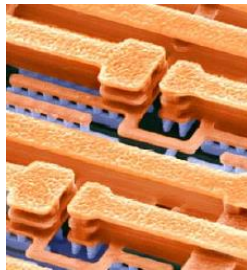
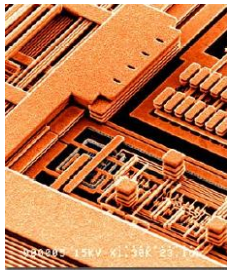


Jiří Jakovenko – Struktury Integrovaných Systémů - A2M34SIS



Metalizace – vodivé spoje

- Dnes se Al nahrazuje Cu – o 40% menší odpor
- Až 11 vrstev metalizace

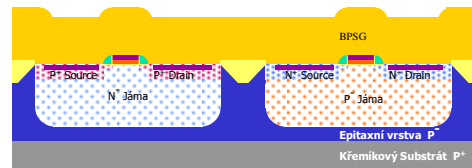


Jiří Jakovenko – Struktury Integrovaných Systémů - A2M34SIS



První metalizace

Depozice BPSG: Oxid křemičitý dotovaný malým množstvím bóru a fosforu. Depozice CVD. Přibližná tloušťka vrstvy je 1 mikrometr. Tato vrstva slouží jako elektrická izolace mezi aktivními součástkami a první vrstvou metalizace.

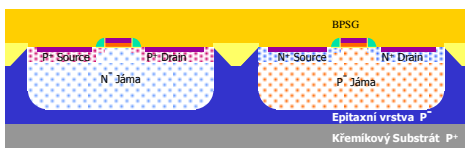


Jiří Jakovenko – Struktury Integrovaných Systémů - A2M34SIS



První metalizace

Leštění BPSG: Chemicko-Mechanické leštění (CMP) zajistí rovny hladký povrch BPSG vrstvy.

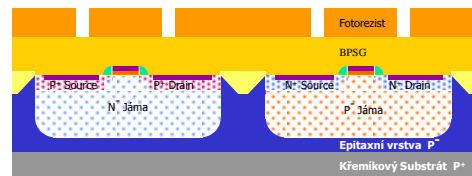


Jiří Jakovenko – Struktury Integrovaných Systémů - A2M34SIS



První metalizace

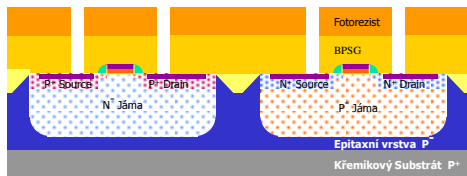
Maska Kontaktů: Nanesení fotorezisty, litografie dle masky kontaktů. Vyleptají se díry ve vrstvě BPSG umožňující elektrické připojení součástek. Náročný technologický krok.



Jiří Jakovenko – Struktury Integrovaných Systémů - A2M34SIS

První metalizace

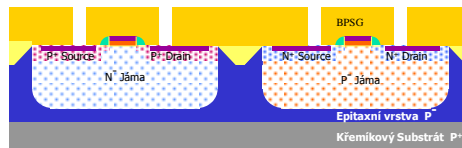
Leptání kontaktů: Metodou RIE.



Jiří Jakovenko – Struktury Integrovaných Systémů - A2M34SIS

První metalizace

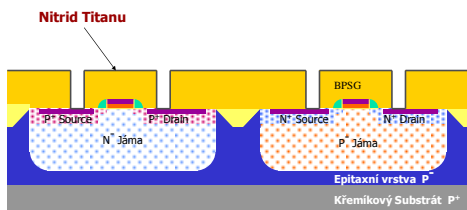
Odstranění fotorezistu:



Jiří Jakovenko – Struktury Integrovaných Systémů - A2M34SIS

První metalizace

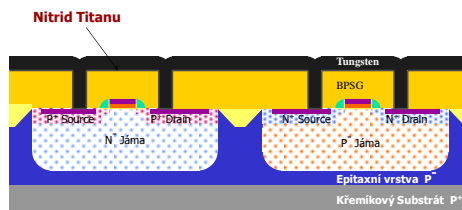
Depozice Nitridu Titanu: TiN je napařen v tloušťce cca 200Å. Vrstva slouží k dokonalému přilnutí metalizace k vrstvě izolaci.



Jiří Jakovenko – Struktury Integrovaných Systémů - A2M34SIS

První metalizace

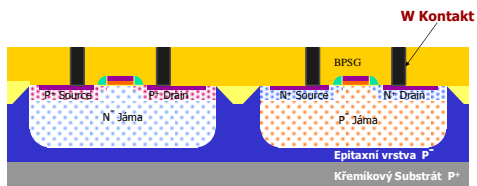
Tungsten Depozice: Touto metodou se deponuje konformní vrstva kovu (pomocí CVD), která zaplní díry pro kontakty. Tloušťka musí být alespoň polovina průměru kontaktů.



Jiří Jakovenko – Struktury Integrovaných Systémů - A2M34SIS

První metalizace

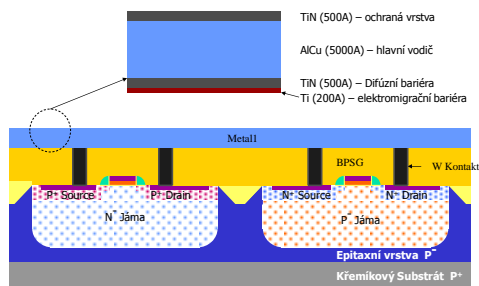
Leštění Tungsten vrstvy: Metodou CMP. Tímto krokem se docílí planárního povrchu. Odstraní se také Nitrid Titanu. Výsledkem jsou propojky mezi aktivními součástkami na čipu a budoucí vrstvou metalizace.



Jiří Jakovenko – Struktury Integrovaných Systémů - A2M34SIS

První metalizace

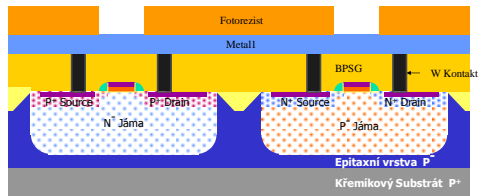
Depozice Metalu1: Metalizace je složena z několika vrstev:



Jiří Jakovenko – Struktury Integrovaných Systémů - A2M34SIS

První metalizace

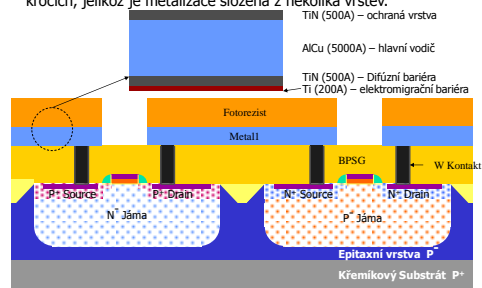
Maska METAL1: Depozice a vyvolání fotorezistu pro motiv první vrstvy metalizace



Jiří Jakovenko – Struktury Integrovaných Systémů - A2M34SIS

První metalizace

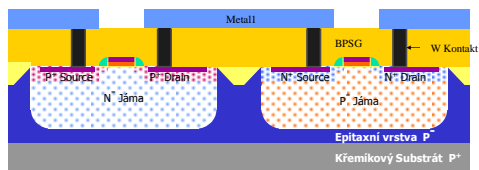
Leptání Metalizace1: Metodou RIE. Provádí se v několika krocích, jelikož je metalizace složena z několika vrstev.



Jiří Jakovenko – Struktury Integrovaných Systémů - A2M34SIS

První metalizace

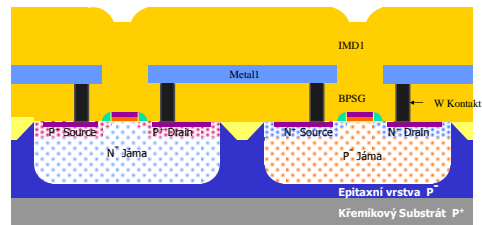
Odstránění fotorezistu: Tímto krokem je první vrstva metalizace hotová.



Jiří Jakovenko – Struktury Integrovaných Systémů - A2M34SIS

Druhá až n-tá vrstva metalizace Dnes až 11 vrstev !!!

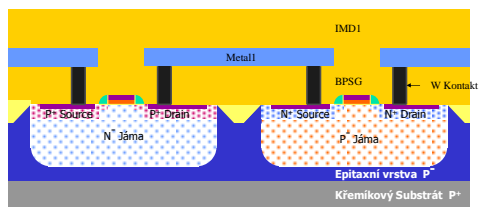
Depozice IMD1: Nedotovaný oxid křemíčitý je deponován metodou CVD. Zaplní dokonale mezery mezi metalizací. Tloušťka přibližně jeden mikrometr. Tato vrstva slouží k elektrické izolaci jednotlivých vrstev.



Jiří Jakovenko – Struktury Integrovaných Systémů - A2M34SIS

Druhá až n-tá vrstva metalizace

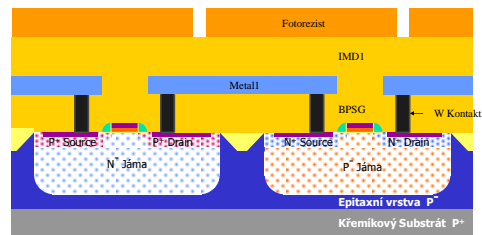
Broušení a leštění IMD1: Chemicko-mechanické leštění zajistí naprosto rovný a hladký povrch.



Jiří Jakovenko – Struktury Integrovaných Systémů - A2M34SIS

Druhá až n-tá vrstva metalizace

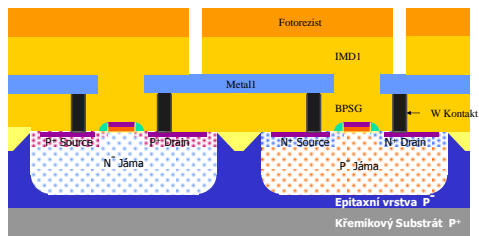
Maska VIA1: Nanesení a vyvolání fotorezistu.



Jiří Jakovenko – Struktury Integrovaných Systémů - A2M34SIS

Druhá až n-tá vrstva metalizace

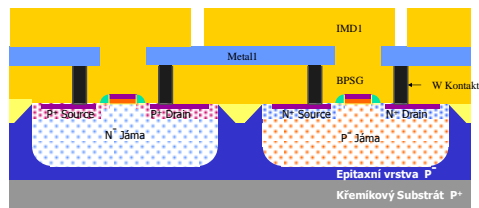
Leptání průchodek VIA1: Metodou RIE.



Jiří Jakovenko – Struktury Integrovaných Systémů - A2M34SIS

Druhá až n-tá vrstva metalizace

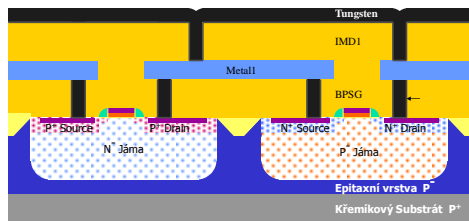
Odstanění fotorezistu:



Jiří Jakovenko – Struktury Integrovaných Systémů - A2M34SIS

Druhá až n-tá vrstva metalizace

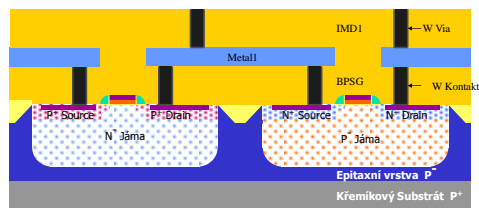
Depozice adhezní vrstvy Nitridu Titanu a vrstvy Tungsten:
Stejný postup jako u první metalizace.



Jiří Jakovenko – Struktury Integrovaných Systémů - A2M34SIS

Druhá až n-tá vrstva metalizace

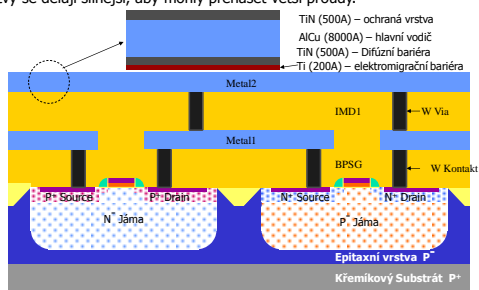
Broušení a leštění Tungsten:



Jiří Jakovenko – Struktury Integrovaných Systémů - A2M34SIS

Druhá až n-tá vrstva metalizace

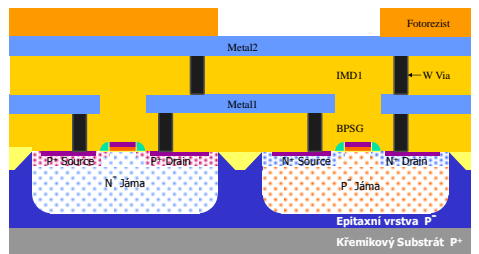
Depozice Metal2: Podobné složení vrstev jako u Metalu1. Horní vrstvy se dělají silnější, aby mohly přenášet větší proudy.



Jiří Jakovenko – Struktury Integrovaných Systémů - A2M34SIS

Druhá až n-tá vrstva metalizace

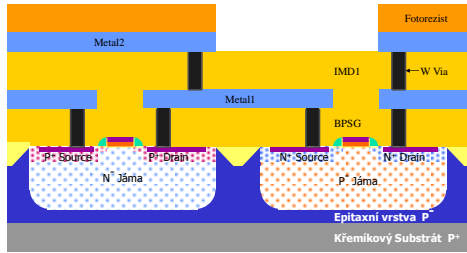
Maska Metal2: Nanesení a vyvolání fotorezistu.



Jiří Jakovenko – Struktury Integrovaných Systémů - A2M34SIS

Druhá až n-tá vrstva metalizace

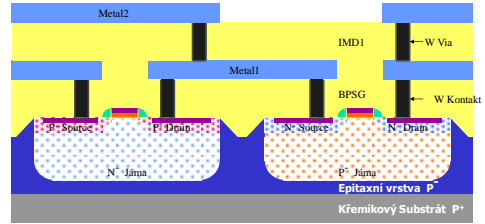
Leptání Metal2: Metodou RIE. V několika krocích.



Jiří Jakovenko – Struktury Integrovaných Systémů - A2M34S1S

Druhá až n-tá vrstva metalizace

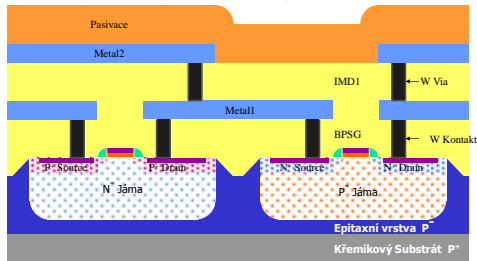
Odstranění fotorezistu: Druhá vrstva je hotová



Jiří Jakovenko – Struktury Integrovaných Systémů - A2M34S1S

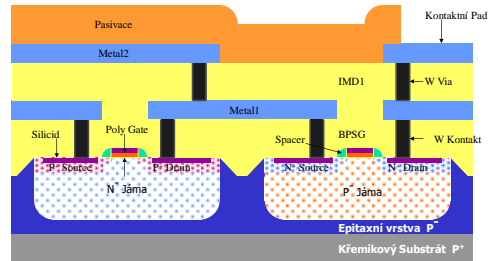
Pasivace

Depozice pasivační vrstvy: Existuje mnoho druhů pasivačních vrstev (silicon nitride, silicon oxynitride, polyimide, atd.). Jejich účel je mechanicky a chemicky chránit povrch čipu.



Jiří Jakovenko – Struktury Integrovaných Systémů - A2M34S1S

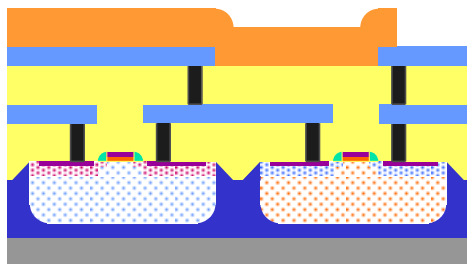
Pasivace



Jiří Jakovenko – Struktury Integrovaných Systémů - A2M34S1S

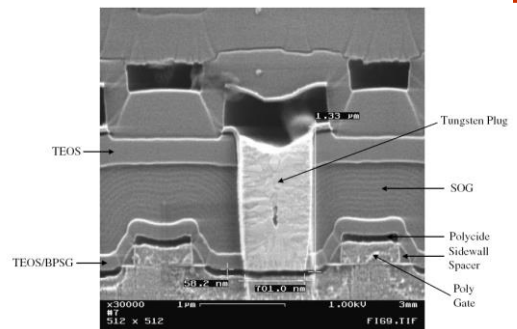
Základní CMOS technologie

Která vrstva je která ???



Jiří Jakovenko – Struktury Integrovaných Systémů - A2M34S1S

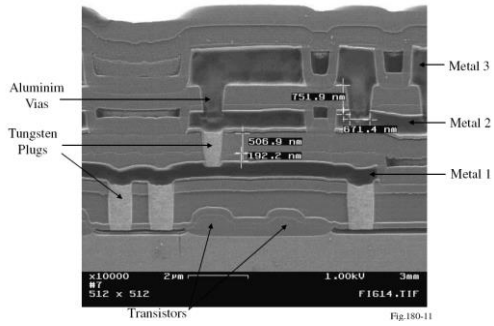
Fotografie kontaktu



Jiří Jakovenko – Struktury Integrovaných Systémů - A2M34S1S



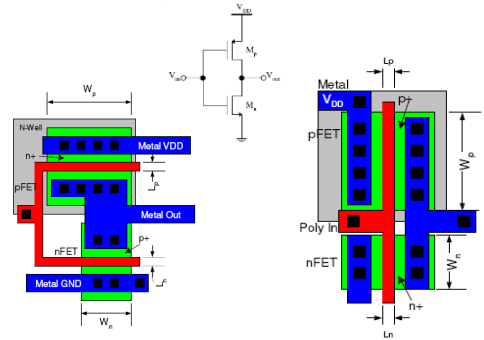
Fotografie řezu IO



Jiří Jakovenko – Struktury Integrovaných Systémů - A2M34S1S



Layout CMOS inverzor



Jiří Jakovenko – Struktury integrovaných systémů - Katedra mikroelektroniky – ČVUT FEL