

1 Grundlagen

1.1 Aufbau eines n-Kanal-FET

1.1.1 Allgemeiner Aufbau

Ein Transistor ist ein elektronisches Halbleiterbauelement das zum Schalten oder Verstärken von Strom verwendet werden kann. Der Stromfluss erfolgt über zwei Anschlüsse (Drain, Source), während der dritte (Gate) zur Steuerung dient. Neben dem Feldeffekttransistor (FET) gibt es noch einen weiteren grundlegenden Transistortyp, den Bipolartransistor. Bei ihm heißen die Anschlüsse Emitter (Source beim FET), Basis (Gate) und Kollektor (Drain). Die Funktionsweise des Bipolartransistors beruht auf Ladungsträgern beider Polaritäten (daher **bipolar**), Löchern und Elektronen. Beim Feldeffekttransistor, auch als **unipolarer** Transistor bezeichnet, sind abhängig von der Bauart entweder Elektronen *oder* Löcher am Stromtransport beteiligt.

Bei dem nachfolgend beschriebenen Transistor handelt es sich um einen sogenannten MOSFET (engl. metal oxide semiconductor field-effect transistor, Metall-Oxid-Halbleiter-FET). Obwohl heute meist hochdotiertes Polysilicium als Gatematerial Verwendung findet und kein Aluminium mehr zum Einsatz kommt, wird auch bei diesem Transistortyp nach wie vor die Bezeichnung MOSFET benutzt. Besser wäre in diesem Fall die Bezeichnung IGFET (engl. insulated gate FET, FET mit isoliertem Gate). Bei neuartigen Transistoren mit High-k-Metal-Gate-Technologie ist die Bezeichnung MOSFET dagegen wieder korrekt, sofern als Isolator weiterhin ein Oxid verwendet wird.

Der Transistor ist das grundlegende Bauelement in der Halbleiterfertigung, in modernen Mikrochips finden sich mehrere hundert Millionen bis Milliarden Transistoren. Durch die Kombination mehrerer Transistoren können sämtliche logische Gatter realisiert werden, um aus Eingangssignalen entsprechende logische Ausgangssignale zu erhalten. Dadurch bilden Transistoren das Herzstück eines jeden Mikroprozessors, Speicherchips usw. Der Transistor ist die von der Menschheit in der höchsten Gesamt-

stückzahl produzierte technische Funktionseinheit, und aus dem heutigen Leben nicht mehr wegzudenken.

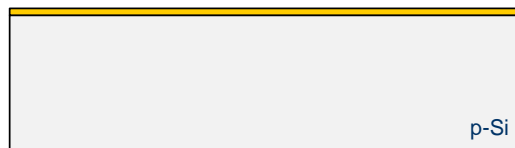
Der Transistor wird in der Produktion Schicht für Schicht aufgebaut. Dabei steht hier der grundlegende Aufbau eines einfachen MOSFETs im Vordergrund, die verschiedenen Möglichkeiten zur Realisierung dieser Schichten folgen in den späteren Kapiteln.

1.1.2 Aufbau eines n-Kanal-FET

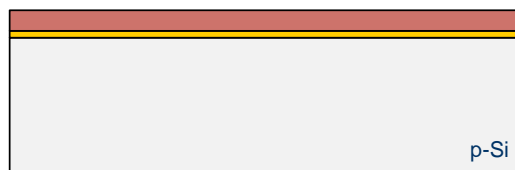
1. Substrat: Grundlage für einen n-Kanal-Feldeffekttransistor ist ein p-dotiertes Siliciumsubstrat, als Dotierstoff dient Bor.



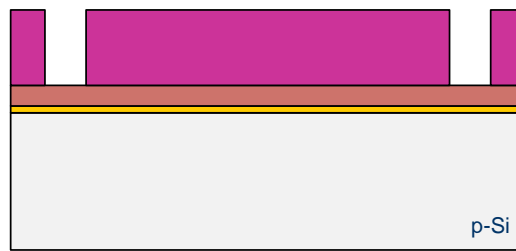
2. Oxidation: Auf dem Substrat wird Siliciumdioxid SiO_2 (das Gateoxid, kurz GOX) in einer Trockenoxidation erzeugt. Es dient zur Isolation zwischen dem später abgeschiedenen Gate und dem Substrat.



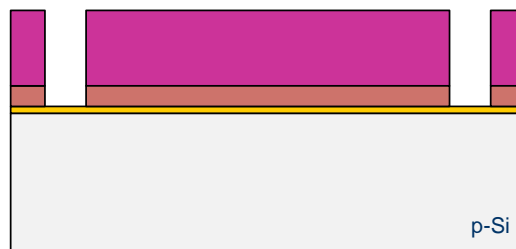
3. Abscheidung: In einem LPCVD-Prozess wird Nitrid abgeschieden, es dient später bei der Feldoxidation als Maskierung.



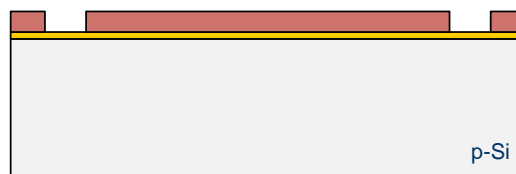
4. Fototechnik: Auf dem Nitrid wird ein Fotolack aufgebracht, belichtet und entwickelt. So erhält man eine strukturierte Lackschicht, die als Ätzmaske dient.



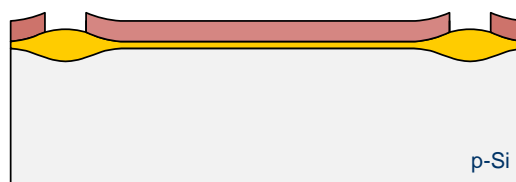
5. Ätzen: Der Lack maskiert das Nitrid, lackfreie Bereiche werden mittels reaktivem Ionenätzen entfernt.



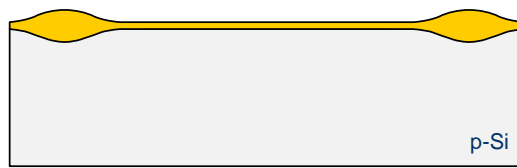
6. Lackentfernen: Nach der Strukturübertragung der Lackmaske in das Nitrid, wird der Resist mit einer Entwicklerlösung nasschemisch entfernt.



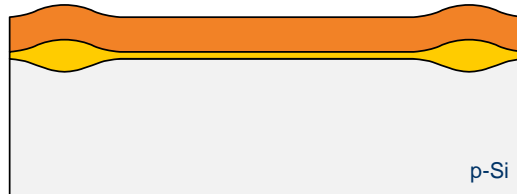
7. Oxidation: Nitrid dient als Maske, nur auf den Nitrid freien Bereichen findet eine thermische Nassoxidation statt. Das Feldoxid (FOX, z. B. 700 nm) dient zur seitlichen Isolation zu benachbarten Bauteilen.



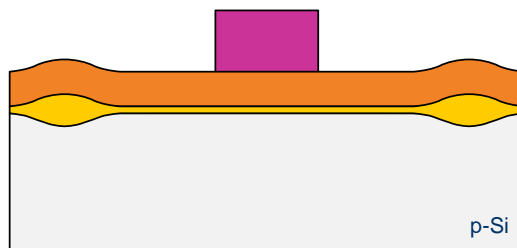
8. Ätzen: Nach der Oxidation wird das Nitrid in einem nasschemischen Ätzprozess entfernt.



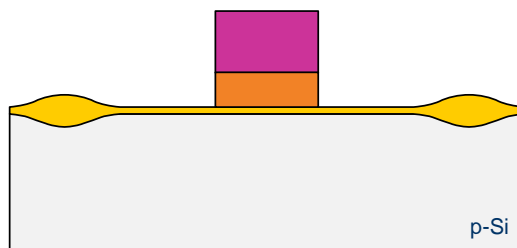
9. Abscheidung: In einem LPCVD-Prozess wird polykristallines Silicium abgeschieden.



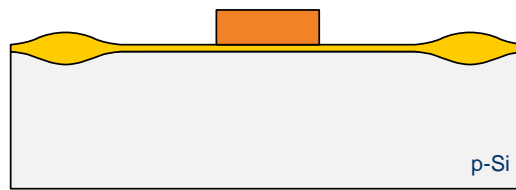
10. Fototechnik: Auf dem Polysilicium wird eine Lackschicht als Ätzmaske strukturiert.



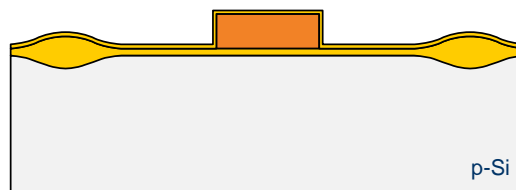
11. Ätzen: Der Fotolack dient wiederum als Lackmaske, in einem reaktiven Ionenätzschritt wird das Silicium strukturiert. Es dient als Gateelektrode zur Steuerung des Transistors.



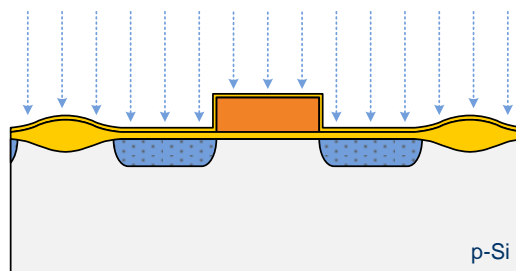
12. Lackentfernen: Der Lack wird nach dem Ätzschritt wieder nasschemisch entfernt.



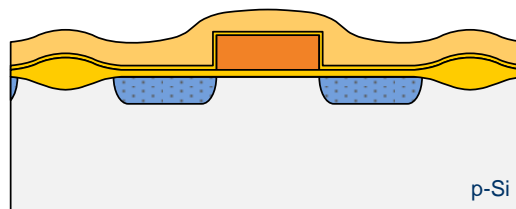
13. Oxidation: Nachfolgend wird ein dünnes Oxid, das Postoxid abgeschieden. Es dient zum einen als Schutz der Gateelektrode, zum anderen als Spacer für die Source-/Drainimplantation.



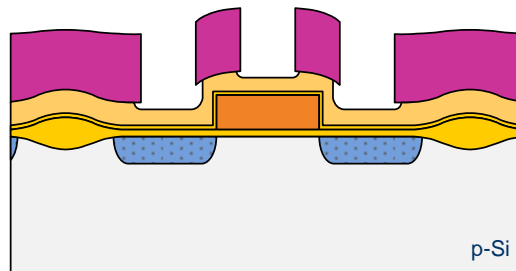
14. Ionenimplantation: In einem Implantationsschritt mit Phosphorionen werden das Source- und Draingebiet n-dotiert. Da die Gateelektrode als Implantationsmaske dient und so die Weite des n-Kanals zwischen Source und Drain vorgegeben ist, bezeichnet man dies als Selbstjustierung.



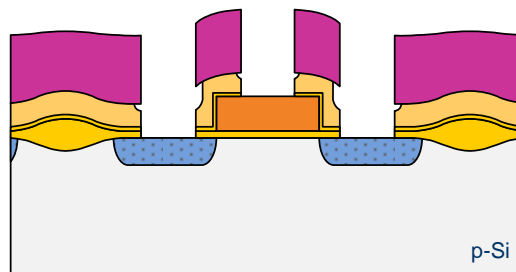
15. Oxidation: Als Isolation zu darüberliegenden Metallisierungsschichten, wird ein Oxid (das Zwischenoxid, kurz ZOx, z. B. 700 nm) abgeschieden. Dies geschieht in einem LPCVD-Prozess mit TEOS, welches eine gute Kantenbedeckung bietet.



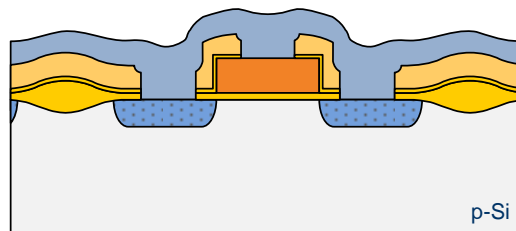
16. Fototechnik und Ätzen: Darüber wird eine weitere Lackschicht strukturiert und in einem isotropen Ätzprozess die Kanten der Kontaktlöcher verrundet.



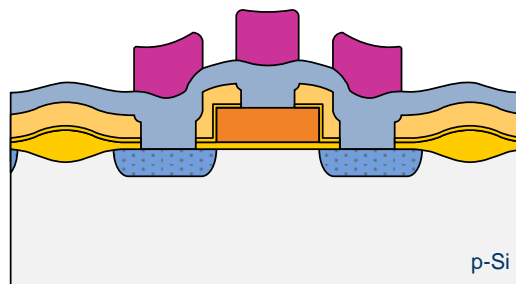
17. Ätzen: Anschließend werden die Kontaktlöcher in einem anisotropen Ätzprozess bis zu den n-dotierten Gebieten freigelegt.



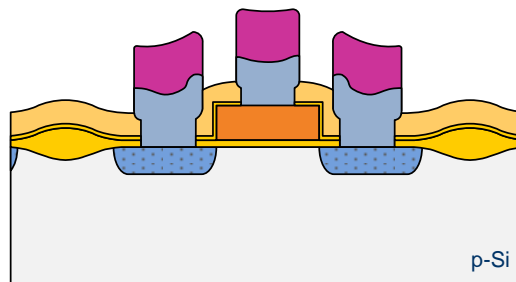
18. Metallisierung: Die Kontaktlöcher werden in einem Sputterprozess mit Aluminium aufgefüllt.



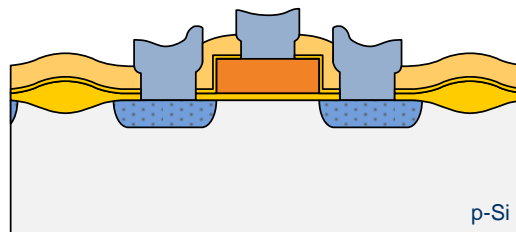
19. Fototechnik: In einem letzten Lithografieschritt wird eine weitere Lackschicht strukturiert.



20. Ätzen: Die Lackstrukturen werden in einem anisotropen Trockenätzschritt in die darunterliegende Metallisierungsebene übertragen.



21. Lackentfernen: Abschließend wird der Resist entfernt, zurück bleiben Aluminiumleiterbahnen zur Ansteuerung des Transistors.



Der tatsächliche Aufbau eines Transistors ist wesentlich komplexer. So können zusätzliche Planarisierungsschichten zur Unterstützung der lithografischen Prozesse zum Einsatz kommen und auch mehrere Drain-/Sourceimplantationen erfolgen um die Einsatzspannung exakt einzustellen. Ebenso sind weitere Spacer („Abstandhalter“) am Gate möglich, um die Kanallänge exakt zu justieren bzw. das Dotierprofil zu beeinflussen.

1.1.3 Funktionsweise

Anreicherungs-FET:

Ohne eine positive Spannung am Gate stehen zwischen Source und Drain keine freien Ladungsträger in Form von Elektronen Verfügung, da das Substrat p-dotiert ist. Im stationären Zustand sind hier Löcher die Majoritätsladungsträger und Elektronen Minoritätsladungsträger.

Durch eine positive Spannung am Gate werden Elektronen durch das elektrische Feld aus dem Substrat angezogen (Löcher dementsprechend verdrängt) und bilden so einen leitenden n-Kanal zwischen Source und Drain. Die isolierende Siliciumdioxidschicht verhindert einen Stromfluss zwischen Substrat und Gate.

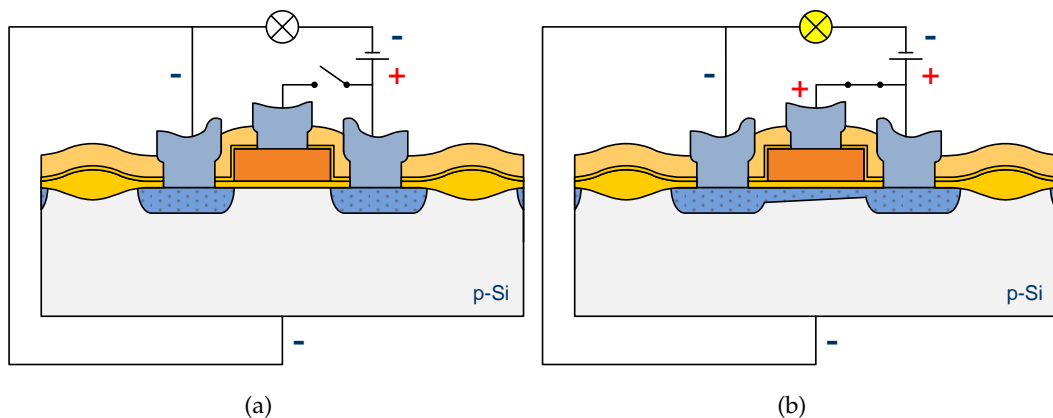


Abb. 1.1: Anreicherungs-Feldeffekttransistor

Da der Transistor den Stromfluss ohne angelegte Spannung sperrt nennt man den Transistor auch selbstsperrend.

Verarmungs-FET:

Durch eine leichte n-Dotierung zwischen Source und Gate erreicht man, dass ein Transistor auch ohne Gatespannung leitend ist (eine Spannung zwischen Source und Drain reicht aus). So genannte Verarmungs-FETs, oder auch selbstleitende Transistoren, sperren nur dann, wenn am Gate eine negativere Spannung als am Source-Anschluss anliegt. Dadurch werden die Elektronen, die sich unter dem Gate befinden, verdrängt – die leitende Elektronenbrücke geht verloren.