

1 Metallisierung

1.1 Aluminiumtechnologie

1.1.1 Aluminium und Aluminiumlegierungen

Wegen seiner Eigenschaften werden heutzutage Aluminium und Legierungen dieses Metalls sehr häufig an der Oberfläche der Chips zur Verdrahtung eingesetzt:

- gute Haftung auf SiO_2 und Zwischenoxiden wie BPSG und PSG
- gute Kontaktierbarkeit bei der Verdrahtung zum Gehäuse (z.B. mit Gold- und Aludrähten)
- niedriger spezifischer Widerstand von $3 \mu\Omega \cdot \text{cm}$
- sehr gut in Trockenätzverfahren strukturierbar

Aluminium erfüllt allerdings die Anforderung an elektrische Belastbarkeit und Korrosionsbeständigkeit nur teilweise. Metalle wie Silber oder Kupfer weisen hier bessere Eigenschaften auf, sind jedoch teuer und mit Trockenätzverfahren nur schwer strukturierbar.

1.1.2 Siliciumdiffusion

Bei der Verwendung von reinem Aluminium kann es zu einer Diffusion von Siliciumatomen in das Metall kommen. Der Halbleiter reagiert bereits bei 200-250 °C mit der Aluminiummetallisierung und hinterlässt durch den Materialschwund, verursacht durch die ausdiffundierten Atome, Gruben an der Kontaktfläche zwischen Silicium und Aluminium. Das Aluminium füllt diese Gruben auf. Dadurch entstehen „Spikes“ die unter Umständen zu einer Kurzschlussbildung führen, wenn sie durch die dotierten Gebiete bis in den Siliciumkristall hineinragen.

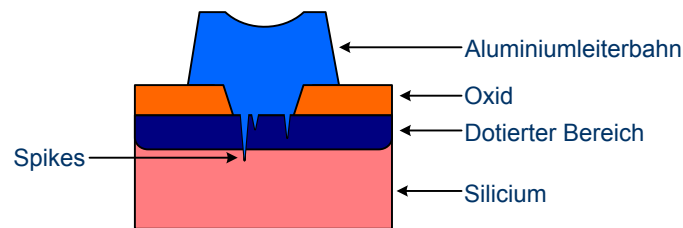


Abb. 1.1: Spikebildung

Die Größe dieser Spikes ist von der Temperatur abhängig mit der das Aluminium auf dem Silicium aufgebracht wird. Um diese Spikes zu verhindern gibt es mehrere Möglichkeiten. An der Stelle des Kontaktlochs kann eine tiefe Ionenimplantation, die Kontaktimplantation, eingebracht werden. Somit ragen die Spikes nicht bis in das Substrat hinein.

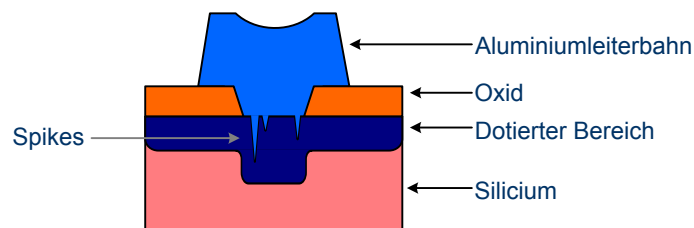


Abb. 1.2: Kontaktimplantation

Der Nachteil dabei ist jedoch, dass ein weiterer Prozessschritt eingeführt werden muss, und sich die elektrischen Eigenschaften durch die Vergrößerung des dotierten Gebietes ändern.

Anstelle des reinen Aluminiums kann auch eine Aluminium-Silicium-Legierung verwendet werden die ca. 1-2 % Siliciumanteil enthält. Das Aluminium ist nun bereits mit Silicium versetzt und es diffundieren keine Siliciumatome mehr aus dem Wafer in das Aluminium. Bei sehr kleinen Kontaktlöchern kann jedoch Silicium an der Kontaktfläche ausfallen, was in einem vergrößerten Kontaktwiderstand resultiert.

Für hochwertige Kontakte ist eine Trennung zwischen Aluminium und Silicium erforderlich. Dazu bringt man auf dem Silicium eine Barriere aus verschiedenen Stoffen, wie z.B. Titan, Titanitrid oder Wolfram auf. Damit eine Erhöhung des Kontaktwiderstands an der Grenzschicht zwischen Titan und Silicium unterbunden wird, muss hier noch eine Kontaktschicht aus Titansilicid aufgebracht werden.

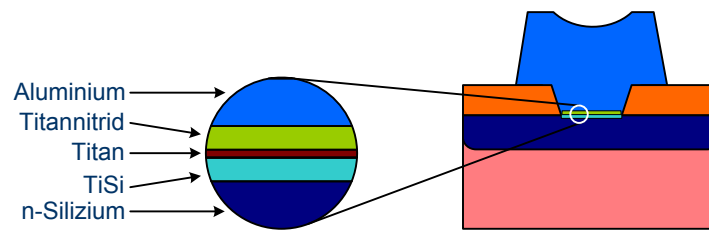


Abb. 1.3: Barrierschicht zwischen Aluminium und Substrat

1.1.3 Elektromigration

Bei hohen Stromdichten (Stromfluss pro Fläche) tritt eine Reibung zwischen den Elektronen und den festen Atomrümpfen auf, die Atome werden von ihren Plätzen bewegt. Besonders an Stellen mit geringem Leiterbahnquerschnitt ist die Stromdichte erhöht, durch die Verschiebung der Atome nimmt der Querschnitt ab, die Stromdichte steigt weiter an. Insbesondere an Kanten über die die Leiterbahnen verlaufen sind solche Engstellen zu finden. Im Extremfall reißen die Aluminiumleiterbahnen durch den Materialtransport ab.

1.1.4 Hillockwachstum

Durch die Elektromigration wird Material verschoben und an Stellen geringer Stromdichte angehäuft. Durch diese so genannten Hillocks (Hügel) können darüber liegende Schichten durchbrochen werden, was zu einem Kurzschluss mit einer anderen Metallisierungsebene führen kann, außerdem kann Feuchtigkeit durch die Risse eindringen und Korrosion verursachen. Hillocks entstehen aber auch auf Grund unterschiedlicher Ausdehnungskoeffizienten der Materialien. Die Stoffe dehnen sich bei Temperaturänderungen unterschiedlich aus, und es entstehen Spannungen zwischen den Schichten. Mit Ausgleichsschichten, die einen „mittleren“ Ausdehnungskoeffizienten haben kann dieses Problem gelöst werden (z.B. Titan, Titannitrid).

Weitere negative Effekte die bei der Metallisierung auftreten können:

- **Streubelichtung:** das Metall kann bei unebenen Oberflächen einfallende Lichtstrahlen bei der Belichtung schräg reflektieren, so dass auch Bereiche neben der eigentlichen Belichtung belichtet werden. Mit Hilfe einer Antireflexschicht aus amorphem Silicium wird die Reflexion verhindert
- **Schlechte Kantenabdeckung:** an Kanten kann es zu vermehrtem, in Ecken zu

vermindertem Aufwachsen der Schicht kommen. Die Kanten müssen deshalb verrundet werden:

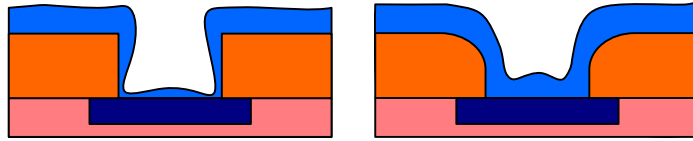


Abb. 1.4: Kantenverrundung zur konformen Aluminiumabscheidung

Das Design der Leiterbahnen muss also exakt geplant werden um diesen Fällen vorzubeugen. Durch einen geringen Zusatz an Kupfer kann die Lebensdauer der Aluminiumleiterbahnen stark erhöht werden, allerdings ist die Strukturierbarkeit mit Kupfer wesentlich komplizierter. Zum Schutz vor Korrosion werden die Oberflächen mit Siliciumdioxid, Siliciumtetranitrid oder Siliciumnitrid passiviert. Das Material der Gehäuse für die Chips besteht aus einer Art Keramik, da Kunststoff keinen ausreichenden Schutz vor Korrosion an den Stellen der Verdrahtung nach außen bietet. Verfahren wie Metallisierungsschichten auf dem Wafer aufgebracht werden, sind im Kapitel Abscheidung näher beschrieben.