

1 Abscheidung

1.1 Plasma, der 4. Aggregatzustand

1.1.1 Plasmazustand

In vielen Prozessen der Halbleiterherstellung wird ein Plasma eingesetzt, sei es beim Sputtern, in Abscheideprozessen oder beim Trockenätzen. Ein wichtiger Punkt dabei ist, dass das Plasma nicht erhitzt ist. So können auch Wafer, die schon eine Metallisierungsschicht tragen, in Plasmaprozessen bearbeitet werden.

Plasma wird auch als der vierte Aggregatzustand bezeichnet. Ein Aggregatzustand ist ein qualitativer Zustand von Stoffen, der von der Temperatur und vom Druck abhängt. Den drei Aggregatzuständen fest, flüssig und gasförmig begegnet man auch im täglichen Leben. Ist die Temperatur niedrig, so ist jedes Atom in einem Stoff fest an einem Punkt angeordnet. Anziehungskräfte verhindern, dass sie sich bewegen. Am absoluten Nullpunkt (-273,15 °C) gehen Stoffe auch keine Reaktion ein. Bei zunehmender Temperatur fangen die Teilchen an zu schwingen, und die Bindungen der Atome werden instabiler. Ist der Schmelzpunkt erreicht, geht ein Stoff vom ersten in den zweiten Aggregatzustand über: Eis (fest) geht über in Wasser (flüssig).

Die Anziehungskräfte in flüssigen Stoffen sind noch vorhanden, jedoch können sich die Teilchen verschieben und haben keine festen Plätze mehr wie im festen Zustand, die Teilchen passen sich beispielsweise einer vorgegebenen Form an. Wird die Temperatur noch weiter erhöht, brechen die Bindungen komplett auf, die Teilchen bewegen sich unabhängig voneinander. Am Siedepunkt geht ein Stoff vom zweiten in den dritten Aggregatzustand über: Wasser (flüssig) geht über in Wasserdampf (gasförmig).

Während das Volumen bei festen und flüssigen Stoffen konstant ist, nehmen gasförmige Stoffe den vorhandenen Platz vollständig ein, die Teilchen verteilen sich gleichmäßig im gesamten Raum.

Jeder Stoff hat einen ganz bestimmten Schmelz- und Siedepunkt. Silicium schmilzt bei 1414 °C und geht bei 2900 °C in den gasförmigen Zustand über. Führt man einem Stoff noch mehr Energie zu werden durch Zusammenstöße der Teilchen untereinander Elektronen aus der äußersten Elektronenschale herausgeschlagen. Es befinden sich nun freie Elektronen und positiv geladene Ionen im Raum: der Plasmazustand ist erreicht.

1.1.2 Plasmaerzeugung

Ein Plasma in der Halbleitertechnologie wird meist durch Hochfrequenzspannung erzeugt, als Gas dient z.B. Argon. Das Gas befindet sich in einem Hochfrequenzfeld zwischen zwei unterschiedlich geladenen Platten (Elektroden) und wird hier ionisiert. Dazu sind Elektronen notwendig, die aus den Argonatomen weitere Elektronen heraus schlagen. Diese ersten Elektronen können auf unterschiedliche Weise erzeugt werden:

- Elektronen werden von einer Glühkathode emittiert
- Durch sehr hohe Spannung werden Elektronen aus der negativen Elektrode herausgezogen
- In jedem Gas befinden sich durch Zusammenstöße der Teilchen kurzzeitig freie Elektronen

Da die Elektronen sehr viel leichter als die Ionen sind, werden sie sofort von der positiv geladenen Elektrode angezogen; die schweren Ionen bewegen sich langsam zur negativen Elektrode. Bevor sie diese jedoch erreichen werden die Elektroden umgepolt, die Elektronen werden zur anderen Elektrode beschleunigt und schlagen auf ihrer Flugbahn bei Zusammenstößen weitere Elektronen aus den Atomen heraus. Typische Frequenzen bei der Plasmaerzeugung sind 13,56 Megahertz und 2,45 Gigahertz, die Spannung an den Elektroden wird also 13,56 Millionen bzw. 2,45 Milliarden mal pro Sekunde umgepolt.

Die Elektronen befinden sich vornehmlich auf den Elektroden, während dazwischen die positiv geladenen Ionen, das Plasma, hin und her schwingen, da sie dem schnellen Spannungswechsel nicht folgen können.

Die Plasmaerzeugung findet unter Vakuum statt, das erzeugte Plasma ist dabei nicht erhitzt, was bei vielen Prozessen wichtig ist. Je nach Gas und Anlage in der das Plasma erzeugt wird, kann es in der Abscheidung, beim Sputtern, zum Ätzen oder auch

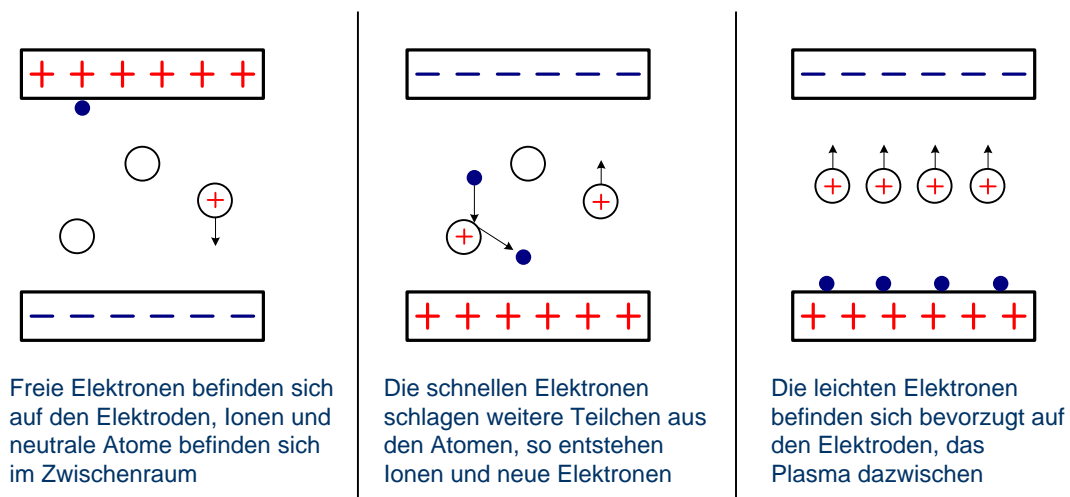


Abb. 1.1: Prinzip der Plasmaerzeugung

bei der Ionenimplantation verwendet werden. Durch die schnellen Schwingungen der positiven Ionen im Hochfrequenzfeld sind diese sehr energiereich. Es befinden sich dabei nicht nur positive Ionen und freie Elektronen im Plasma, da durch Zusammenstöße auch andere Teilchen erzeugt werden; der Zustand des Plasmas ändert sich laufend. Elektronen werden von den Ionen teilweise wieder eingefangen und erneut herausgeschlagen, diese zusätzlichen Teilchen spielen jedoch bei der weiteren Verwendung des Plasmas keine Rolle. Der Ionisierungsgrad beträgt je nach Teilchendichte im Plasma ($10^8 - 10^{12}$ Teilchen pro cm^3) 0,001 – 10 %, die Mehrzahl der Teilchen ist also ungeladen.