

Halbleitertechnologie von A bis Z

Trockenätzen

Anlagentechnik (Reaktortypen)	3
Allgemein: Aufbau einer Trockenätzanlage	3
Reaktortypen: CCP und ICP in der Praxis	3
Elektronenzyklotronresonanz (ECR)	4
Wafer-Chuck: Temperaturkontrolle und elektrostatische Klemmung	4

Anlagentechnik (Reaktortypen)

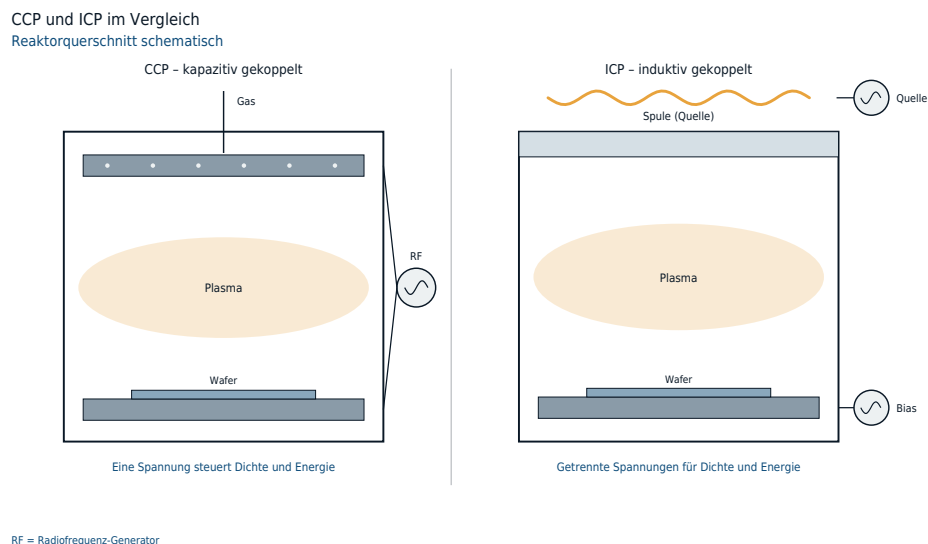
Allgemein: Aufbau einer Trockenätzanlage

Jede Trockenätzanlage besteht aus denselben Grundkomponenten: einer Prozesskammer, einem Gaseinlass – oft als sogenannter Showerhead direkt über dem Wafer, für eine gleichmäßige Gasverteilung – einem Pumpensystem aus Turbomolekularpumpe und vorgeschalteter Drehschieberpumpe für den nötigen Unterdruck, der HF-Einkopplung zur Plasmaerzeugung sowie dem Wafer-Chuck.

Wie diese Komponenten im Detail ausgeführt sind, unterscheidet sich stark zwischen den Reaktortypen – und bestimmt maßgeblich, welche Prozesse eine Anlage beherrscht.

Reaktortypen: CCP und ICP in der Praxis

Wie im Bereich **Abscheidung** beschrieben, bestimmt bei kapazitiv gekoppelten Reaktoren (CCP) dieselbe Spannung sowohl die Ionendichte als auch die Ionenenergie – beides lässt sich nicht unabhängig einstellen. Induktiv gekoppelte Reaktoren (ICP) trennen diese beiden Größen durch eine separate Bias-Spannung an der Waferelektrode.



Für das Ätzen ist diese Trennung besonders wichtig: Eine hohe Ätzrate braucht viele reaktive Teilchen, also eine hohe Ionendichte, ein sauberes anisotropes Profil dagegen kontrollierte, nicht zu hohe Ionenenergie. Konstruktiv zeigt sich der Unterschied deutlich: CCP-Reaktoren verwenden häufig Silicium- oder SiC-Elektroden als Verbrauchsmaterial, um eine Metallkontamination der Scheibe

zu vermeiden; die Kammerwände bestehen meist aus eloxiertem Aluminium, das den aggressiven Fluor- und Chlorradikalen widerstehen muss. Bei ICP-Reaktoren sitzt die Spule außerhalb eines dielektrischen Kammerfensters aus Quarz oder Keramik, durch das das Wechselfeld eindringen kann.

Die erreichbare Ionendichte liegt bei ICP typischerweise um den Faktor 10 bis 100 höher als bei CCP – der Hauptgrund, warum ICP heute der Standard für anspruchsvolle Ätzprozesse mit hohem Aspektverhältnis ist.

Elektronenzyklotronresonanz (ECR)

Bei ECR-Reaktoren erzeugt eine Kombination aus Mikrowelleneinkopplung – meist bei 2,45 GHz – und einem Magnetfeld sehr hohe Plasmadichten bei besonders niedrigem Druck. Die Mikrowellenfrequenz wird dabei genau auf die Zyklotronresonanzfrequenz der Elektronen im Magnetfeld abgestimmt, was eine sehr effiziente Energieübertragung ermöglicht.

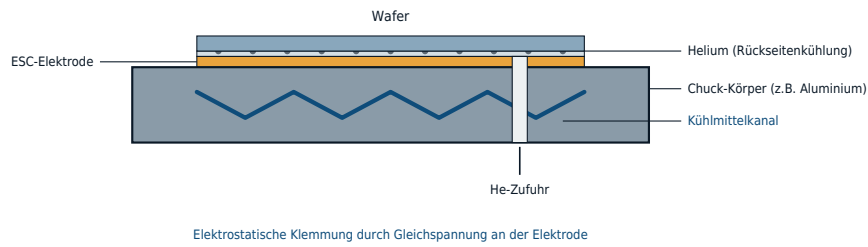
Historisch war ECR ein wichtiger Vorläufer der heutigen ICP-Technik, ist aber wegen der aufwändigeren und teureren Anlagentechnik – zusätzliche Magnetspulen, Mikrowellenquelle statt einfachem RF-Generator – weitgehend von ICP verdrängt worden. Eingesetzt wird es noch in Nischenanwendungen, die besonders niedrige Ionenenergien bei gleichzeitig hoher Dichte erfordern, etwa bei besonders schädigungsempfindlichen Schichten.

Wafer-Chuck: Temperaturkontrolle und elektrostatische Klemmung

Der elektrostatische Chuck (ESC) hält den Wafer während des Prozesses plan und mechanisch stabil, ohne mechanische Klemmen, die den Scheibenrand beschädigen oder abschatten könnten.

Physikalisch wirkt der ESC dabei wie ein Kondensator: Die Gleichspannung an der Elektrode lädt die eine Seite des dünnen Dielektrikums auf, während sich auf der Wafer-Rückseite eine entgegengesetzte Spiegelladung ausbildet. Die daraus resultierende elektrostatische Anziehungskraft presst den Wafer gegen die Oberfläche. Bei einfachen Coulomb-Chucks reicht dafür allein die angelegte Spannung; Johnsen-Rahbek-Chucks nutzen zusätzlich eine leicht leitfähige Dielektrikumsschicht und erreichen dadurch deutlich höhere Klemmkraft – allerdings mit langsamerem Lösevorgang nach Prozessende, da die Ladung erst abfließen muss.

Wafer-Chuck: Klemmung und Kühlung
Querschnitt schematisch



ESC = Electrostatic Chuck (elektrostatischer Chuck)

Da im Vakuum keine Konvektion stattfindet, sorgt eine gezielte Rückseitenkühlung mit Helium-Gas - in feinen Kanälen zwischen Chuck und Waferrückseite eingeleitet - für den nötigen Wärmeübergang. Diese Temperaturkontrolle ist entscheidend: Ätzrate, Selektivität und Profilform hängen alle stark von der Wafertemperatur ab, weshalb moderne Chucks die Temperatur über den gesamten Prozess und über die Scheibe hinweg auf wenige Grad genau regeln.