

Halbleitertechnologie von A bis Z

Mikromechanik

Anisotropes Ätzen von Silicium	3
<i>Kristallorientierung und Ätzraten</i>	<i>3</i>
<i>Der charakteristische Winkel von 54,74°</i>	<i>3</i>
<i>(110)-Silicium: senkrechte Wände</i>	<i>4</i>

Anisotropes Ätzen von Silicium

Kristallorientierung und Ätzraten

Einkristallines Silicium ätzt in alkalischen Lösungen wie Kaliumhydroxid (KOH) oder TMAH (Tetramethylammoniumhydroxid) nicht in allen Richtungen gleich schnell – man spricht von anisotropem Ätzen. Ursache ist die Kristallstruktur: Silicium kristallisiert im Diamantgitter, und die {111}-Kristallebenen sind deutlich dichter mit Atomen besetzt als die {100}- oder {110}-Ebenen. Weil dichter gepackte Ebenen weniger frei zugängliche Bindungen für die Ätzlösung bieten, werden sie erheblich langsamer abgetragen – typische Ätzratenverhältnisse zwischen {100} und {111} liegen bei 100:1 oder mehr.

Die {111}-Ebenen bilden deshalb die Seitenwände der geätzten Struktur, unabhängig davon, wie lange geätzt wird: Ist die {111}-Ebene erst einmal freigelegt, kommt der Ätzangriff dort praktisch zum Stillstand, während {100}- oder {110}-Flächen weiter abgetragen werden.

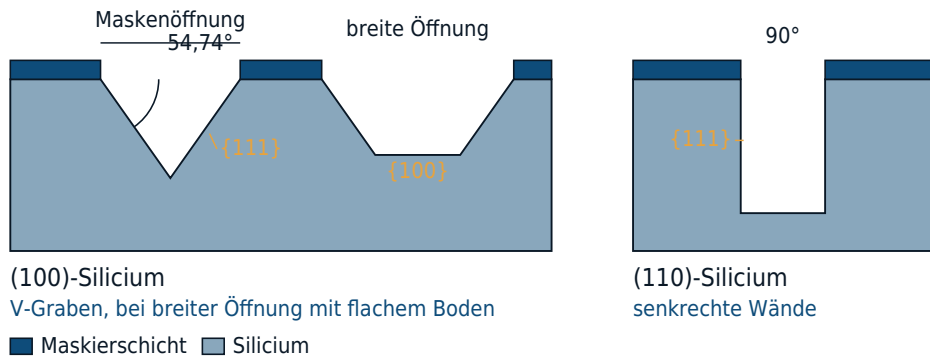
Der charakteristische Winkel von 54,74°

Bei (100)-orientierten Wafern – dem in der Halbleiterfertigung häufigsten Schnitt – liegt die Waferoberfläche parallel zur {100}-Ebene. Die {111}-Ebenen schneiden diese Oberfläche unter einem festen, durch die Kristallgeometrie vorgegebenen Winkel von 54,74°. Öffnet man die Maskierschicht rechteckig und ätzt durch diese Öffnung, entsteht deshalb kein senkrechter Graben, sondern ein V-förmiger Graben mit schrägen, exakt 54,74° geneigten Seitenwänden.

Ist die Maskenöffnung breit genug und die Ätzzeit ausreichend lang, treffen sich die beiden {111}-Seitenwände nicht in einer Spitze, sondern das Ätzen erreicht zuerst eine flache {100}-Bodenfläche – es entsteht ein Trapez mit flachem Boden statt eines spitzen V-Grabens. Bei schmaler Öffnung oder kurzer Ätzzeit bleibt es bei der V-Form.

Anisotrope Ätzung von Silicium in alkalischer Lösung

Die {111}-Ebenen werden am langsamsten abgetragen und bilden die Flanken



(110)-Silicium: senkrechte Wände

Verwendet man stattdessen einen (110)-orientierten Wafer, dessen Oberfläche parallel zur {110}-Ebene liegt, ändert sich die Geometrie grundlegend: Die {111}-Ebenen stehen hier senkrecht zur Waferoberfläche. Eine rechteckige Maskenöffnung erzeugt deshalb einen Graben mit exakt senkrechten (90°) Seitenwänden statt der schrägen 54,74°-Flanken des (100)-Wafers.

Diese Eigenschaft macht (110)-Silicium interessant für Anwendungen, die hohe Aspektverhältnisse bei gleichzeitig einfachem Nassätzen benötigen – etwa schmale, tiefe Gräben, die mit einem (100)-Wafer wegen der schrägen Wände deutlich mehr Fläche beanspruchen würden. Der Nachteil: (110)-Wafer sind weniger verbreitet und in der Fertigung entsprechend teurer und schwerer zu beschaffen als der Standard-(100)-Wafer.