

1 Waferherstellung

1.1 Entstehung der Wafer

1.1.1 Wafervereinzelung und Oberflächenveredelung

Der Einkristallstab wird zunächst auf den gewünschten Durchmesser abgedreht und bekommt dann, je nach Kristallorientierung und Dotierung, einen oder zwei Flats. Der größere Flat dient dazu, die Wafer in der Fertigung exakt ausrichten zu können. Der zweite Flat dient zur Erkennung des Scheibentyps (Kristallorientierung, p-/n-Dotierung), ist aber nicht immer vorhanden. Bei Wafern ab 200 mm Durchmesser werden an Stelle der Flats sogenannte Notches verwendet. Dabei handelt es sich um eine winzige Einkerbungen am Scheibenrand, die ebenfalls eine Ausrichtung der Wafer ermöglicht, aber sehr viel weniger kostbare Fläche des Wafers beansprucht.

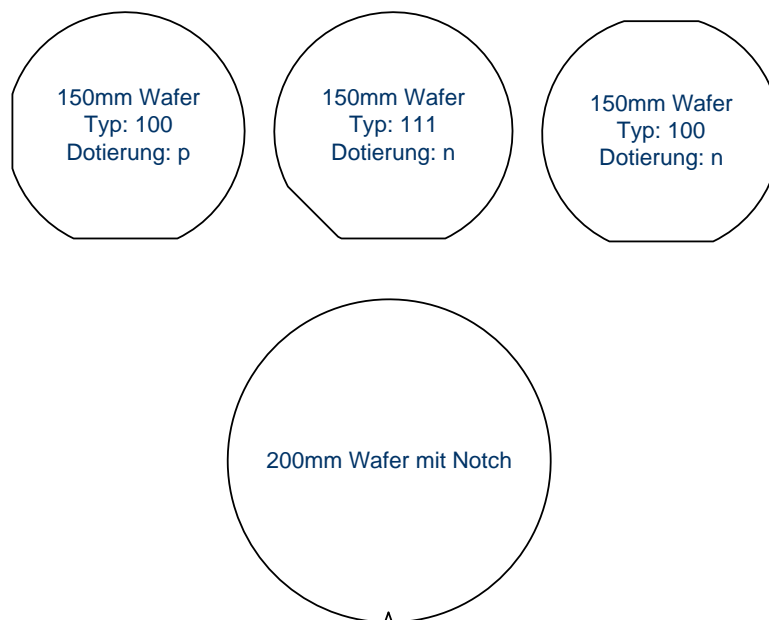


Abb. 1.1: Verschiedene Wafertypen

Sägen:

Mit einer Innenlochsäge, deren Schnittkante mit Diamantsplittern besetzt ist, wird der Einkristallstab in dünne Scheiben zersägt. Die Innenlochsäge bietet eine hohe Genauigkeit beim Sägen ohne Unebenheiten hervorzurufen. Bis zu 20 % des Kristallstabs gehen beim Sägen der Scheiben auf Grund der Dicke des Sägeblatts verloren. Heutzutage wird jedoch immer öfter das sogenannte Drahtsägen angewandt, bei dem mehrere Wafer auf einmal aus dem Stab geschnitten werden können. Dabei wird ein langer Draht, welcher mit einer Suspension aus Siliciumcarbidkörnern und einem Trägermittel wie Glykol oder Öl benetzt wird, über rotierende Walzen geführt. Der Siliciumkristall wird in das Drahtgitter abgelassen und so zu Wafern vereinzelt. Der Draht bewegt sich im Gegenschnitt mit ca. 10 m/s und ist typischerweise $0,1 - 0,2\text{ mm}$ dick.

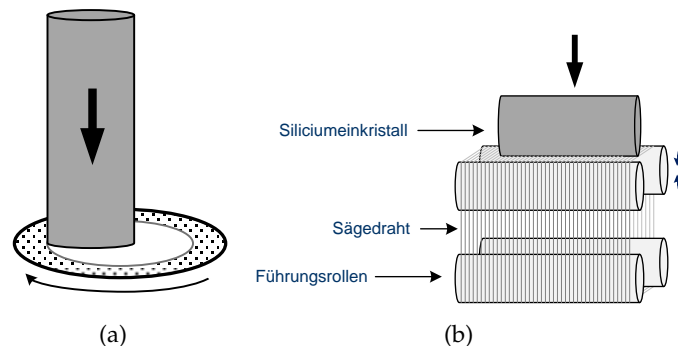


Abb. 1.2: Innenloch- und Drahtsäge

Nach dem Sägen besitzen die Scheiben eine aufgeraute Oberfläche und, auf Grund der mechanischen Belastung, Gitterschäden im Kristall. Zum Veredeln der Oberfläche durchlaufen die Scheiben mehrere Prozessschritte.

Läppen:

Mit körnigen Schleifmitteln (z.B. Aluminiumoxid) werden $50\ \mu\text{m}$ ($0,05\text{ mm}$) der Scheibenoberfläche auf einer rotierenden Stahlscheibe abgetragen. Die Körnung wird dabei stufenweise verringert, jedoch wird die Oberfläche auf Grund der mechanischen Behandlung erneut geschädigt. Die Ebenheit nach dem Läppen beträgt ca. $2\ \mu\text{m}$.

Scheibenrand abrunden:

In späteren Prozessen dürfen die Scheiben keine scharfen Kanten besitzen, da aufgebraute Schichten ansonsten abplatzen können. Dazu wird der Rand der Scheiben mit einem Diamantfräser abgerundet.

Ätzen:

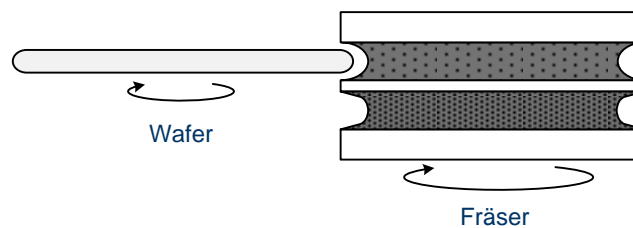


Abb. 1.3: Kantenverrundung

In einem Tauchätzschritt, mit einer Mischung aus Fluss-, Essig- und Salpetersäure, werden noch einmal $50\ \mu\text{m}$ abgetragen. Da es sich hierbei um einen chemischen Vorgang handelt, wird die Oberfläche nicht geschädigt. Kristallfehler werden endgültig behoben.

Polieren:

Dies ist der letzte Schritt zum fertigen Wafer. Am Ende des Polierschrittes besitzen die Wafer noch eine Unebenheit von weniger als $3\ \text{nm}$ ($0,000003\ \text{mm}$). Dazu werden die Scheiben mit einem Gemisch aus Natronlauge (NaOH), Wasser und Siliciumdioxidkörnern behandelt. Das Siliciumdioxid entfernt weitere $5\ \mu\text{m}$ von der Scheibenoberfläche, Die Natronlauge entfernt Oxid und beseitigt Bearbeitungsspuren der Siliciumdioxidkörner.

1.1.2 Historische Entwicklung der Wafergröße

Die Herstellung von integrierten Schaltkreisen auf Siliciumwafern begann Mitte der 1960-er Jahre auf Scheiben, mit einem Durchmesser von $25\ \text{mm}$. Heutzutage werden in modernen Halbleiterfertigungen Wafer mit einem Durchmesser von $150 - 300\ \text{mm}$ eingesetzt. Ab 2013 wollen die ersten Chiphersteller auf Wafer mit einem Durchmesser von $450\ \text{mm}$ umsteigen, die Waferfläche beträgt dann mehr als das 300-fache der winzigen 1-Zoll-Wafer vor gut 50 Jahren.

Mit größeren Wafern steigt der Durchsatz in der Herstellung von Chips erheblich, wodurch die Kosten in der Fertigung entsprechend gesenkt werden können. So können bei identischer Strukturgröße mehr als doppelt so viele Chips auf einem $300\ \text{mm}$ Wafer hergestellt werden, wie es auf einem $200\ \text{mm}$ Wafer der Fall ist.

Beim Übergang zu einer Wafergröße von $450\ \text{mm}$ ergeben sich zahlreiche Probleme, die es zu meistern gilt. So muss u.a. die Durchbiegung beachtet werden, damit sich

Typ	Durchmesser [mm]	Dicke [μm]	1. Flat [mm]	Durchbiegung [μm]
6 Zoll	150 \pm 0,5	\approx 700	55-60	25
8 Zoll	200 \pm 0,5	\approx 700	55-60	25
12 Zoll	300 \pm 0,5	\approx 700	55-60	25

Tab. 1.1: Typische Daten von Wafern

die übereinander gelagerten Wafer während des Transports nicht berühren. Ebenso müssen Auflageflächen von Waferhandler in Fertigungsanlagen neu gestaltet werden.

Durch Schichtspannungen können sich größere Wafer wesentlich leichter verformen. Auf Grund der Materialkosten und der zu beachtenden Eigenfrequenz der Wafer, können diese jedoch nicht einfach dicker gemacht werden können.

Auch ermöglicht ein größerer Wafer nicht automatisch eine billigere Produktion, da auch eine größere Fläche bearbeitet werden muss. Im Vergleich zu 300-mm-Wafern müssen die Energiekosten pro cm^2 um den Faktor 2,25 gesenkt werden, um die Fertigungskosten auf einem ähnlichen Niveau zu halten. Da die Herstellung der Wafer mehr als doppelt so lange dauert, ist auch die Wahrscheinlichkeit größer, dass sich Fehler ins Kristallgitter einbauen.

Und auch die Bearbeitung der Wafer stellt eine große Herausforderung dar, da alle Prozesse auf eine deutlich größere Fläche angepasst werden müssen.

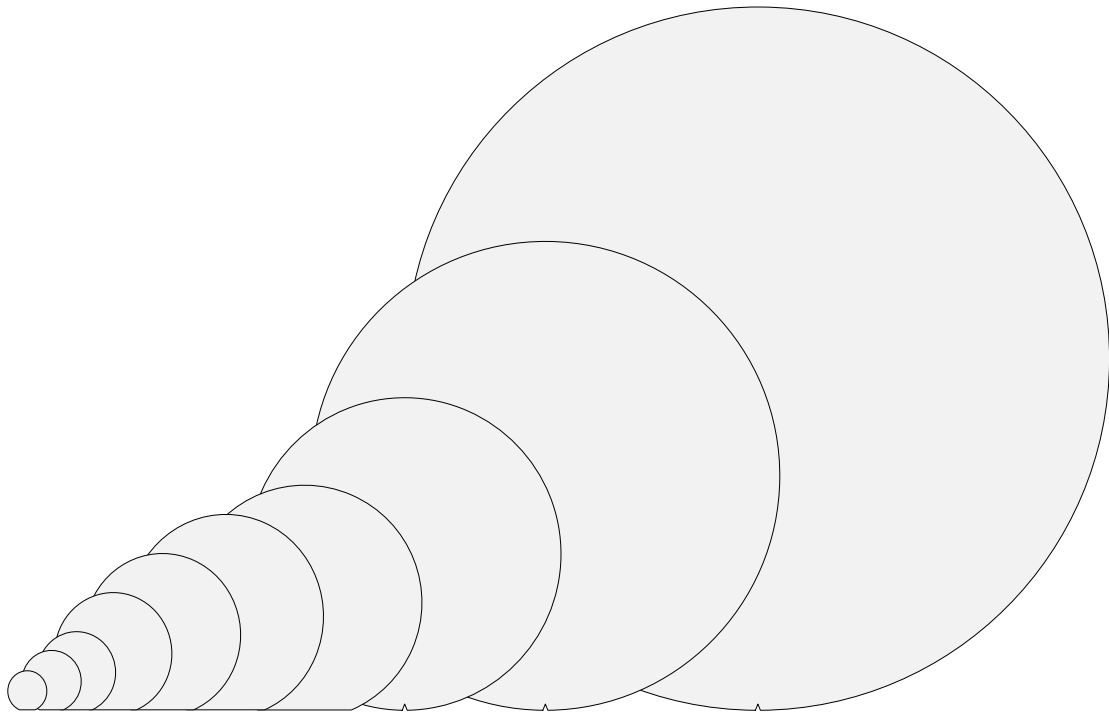


Abb. 1.4: Wafergrößen in der Übersicht: 25, 38, 51, 75, 100, 125, 150, 200, 300, 450 [mm] (Maßstabsgetreu)