

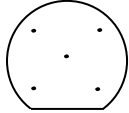
Aufgabenpool

Aufgabe 1)

Pro Charge werden in der Waferproduktion Stichproben gemessen. Dazu werden mit Hilfe einer manuellen 4-Spitzen-Messung an fünf verschiedenen Stellen eines Wafers Widerstandswerte aufgenommen (siehe Tabelle, Wafermesspunkte).

Die 4-Spitzen-Messung liefert generell ein Flächenwiderstand in Ω , der nur bei vollautomatischen Systemen direkt in den spezifischen Widerstandwert Ωcm umgerechnet wird.

Die vom Kunden festgelegten Qualitätsanforderungen legen einen spezifischen Widerstandsbereich von $17,5 \Omega\text{cm} \pm 2,5 \Omega\text{cm}$ fest. Für die Messung an einem manuellen Messplatz müssen die Grenzwerte in den einfachen Flächenwiderstand umgerechnet werden. Das bedeutet, dass die gemessenen Widerstandswerte in einem Bereich von $23,87 \Omega$ bis $31,83 \Omega$ liegen müssen (gewünschter Mittelwert: $27,85 \Omega$), um den geforderten spezifischen Widerstand zu gewährleisten (Umrechnung siehe Aufgabe 2).

Charge	1	2	3	4	5	6	7	8	gemittelte Werte insgesamt
Messwerte in 	29,8	28,7	28,2	27,9	25,2	23,8	23,8	23,2	
	31,0	29,1	28,9	27,4	23,9	24,0	24,1	23,9	
	28,2	29,6	27,9	28,1	24,1	24,2	23,6	23,3	
	30,2	27,6	28,4	27,1	24,7	23,8	23,8	23,0	
	30,6	28,0	27,9	27,8	23,9	23,9	23,9	23,6	
Mittelwert									
Standardabw.									

- Ermitteln Sie den Mittelwert und die Standardabweichung pro Charge.
- Ermitteln Sie den gemittelten Mittelwert und die gemittelte Standardabweichung aller Messungen.
- Bewerten Sie die Gesamtproduktion der 8 Chargen, indem Sie die Prozessfähigkeit C_p (Fähigkeitsuntersuchung) und die kritische Prozessfähigkeiten C_{pk} (Beherrschbarkeitsuntersuchung) ermitteln. Hierbei gilt:

$$C_p = \frac{OGW - UGW}{6 \cdot s}$$

$$C_{pk} = \frac{OGW - \bar{x}}{3 \cdot s} \text{ oder } C_{pk} = \frac{\bar{x} - UGW}{3 \cdot s}$$

Zeichnen Sie die Mittelwerte der einzelnen Chargenüberprüfungen in die Qualitätsregelkarte ein, bestimmen Sie die Eingriffsgrenzen über die Formel

$$OEG = OGW - \left(\frac{T}{8}\right) \quad \text{und} \quad UEG = UGW + \left(\frac{T}{8}\right)$$

mit

- OEG = obere Eingriffsgrenze
- UEG = untere Eingriffsgrenze
- OGW = oberer Grenzwert
- UGW = unterer Grenzwert

und zeichnen Sie die Sollgrenzen der Produktion ein. Bewerten Sie die Produktion anhand der graphischen Darstellung. Gibt es Besonderheiten im zeitlichen Produktionsablauf?

Aufgabe 2)

Ein mit Bor vordotierter Wafer wird nach der Herstellung auf seine Spezifikationsgrenzen überprüft. Die Anforderungen vom Hersteller bezogen auf den spezifischen Widerstand liegen hierbei zwischen 15 bis 20 Ωcm . Um dies zu ermitteln, führt man eine manuelle Vier-Spitzen-Messung durch, bei der über die äußeren Spitzen ein konstanter Strom eingespeist wird und an den inneren Spitzen die resultierende Spannung gemessen wird (s. Abb. 9.11) Der Abstand zwischen den Spitzen beträgt $a=1\text{mm}$. Die Messung ergibt einen Flächenwiderstand von 30 Ω .

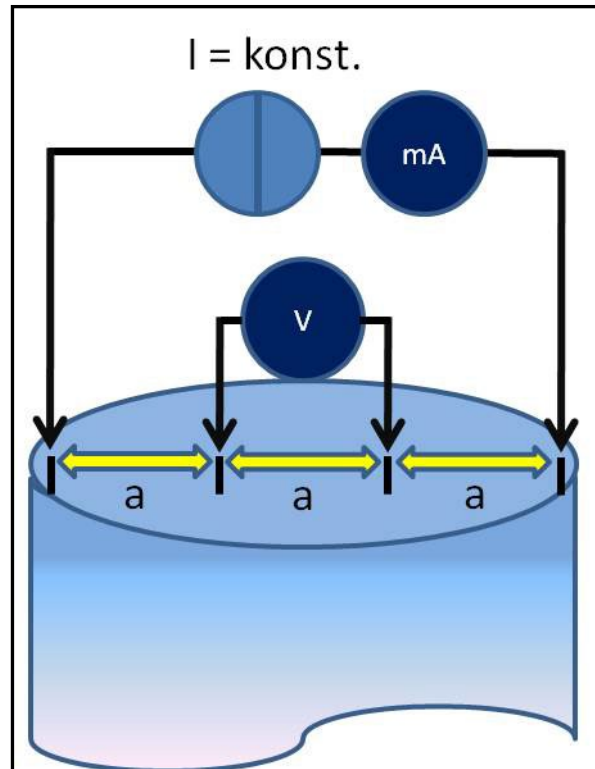


Abbildung 9.11 : Messschaltung der Vier-Spitzenmessung

- Erfüllt dieser Wafer die Spezifikationen des Herstellers bezüglich des spezifischen Widerstandes?
- Geben Sie für die vorgegebenen Spezifikationsgrenzen (spezif. Widerstand) die minimalen und maximalen Werte des zu messenden Widerstandes an, so dass die Anforderungen gerade noch erfüllt sind.
- Berechnen Sie die Dotierung des Wafers.
- Wie nennt man ein mit Bor vordotiertes Substrat?

es gilt: Überlagerungspotential : $U_2 - U_3 = \frac{I}{2\pi\sigma a}$

spezifische Widerstand : $\varphi = \frac{1}{\sigma}$

Ohmsche Gesetz: $U = R \cdot I$

$$\varphi = \frac{1}{q(n \cdot \mu_n + p \cdot \mu_p)}$$

q = Elementarladung = $1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C}$ (1 C = 1 As)

μ_p = Ladungsträgerbeweglichkeit für Bor = $480 \text{ cm}^2/\text{Vs}$

Aufgabe 3) Auswirkungen der Produktionsabläufe

Das Abdrehen des Wafers beeinflusst direkt das Merkmal „Durchmesser“, da durch das Werkstück exakt das überschüssige Si-Material abgetragen wird.

Geben Sie für alle 13 Merkmale in der Tabelle rechts den genauen Prozessschritt in der Fertigung an, der direkt Auswirkung auf das Merkmal hat oder durch ihn hauptsächlich festgelegt wird.

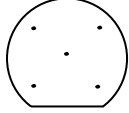
Tabelle 5.2 Auszug aus einer Substratscheibenspezifikation

Merkmal	Sollwert
Durchmesser	125 mm $\pm$ 0,5 mm
Dicke	0,525 mm $\pm$ 0,02 mm
Keiligkeit	$\leq$ 15 μ m
Durchbiegung	$\leq$ 50 μ m
Ebenheit	$\leq$ 5 μ m
Orientierung	{111}
Flatlage	parallel zu <110>-Richtung innerhalb 1°
Rückseite	geläppt und alkalisch geätzt
Scheibenvorderseite	poliert
Herstellungsart	CZ
Leitungstyp	p
Dotierung	Bor
spezifischer Widerstand	4,0 $\pm$ 1,0 Ω cm

Abbildung 9.12 : Liste der Substratspezifikationen

LÖSUNGEN:

Aufgabe 1a und b)

Charge	1	2	3	4	5	6	7	8	gemittelte Werte insgesamt
Messwerte in 	29,8	28,7	28,2	27,9	25,2	23,8	23,8	23,2	
	31,0	29,1	28,9	27,4	23,9	24,0	24,1	23,9	
	28,2	29,6	27,9	28,1	24,1	24,2	23,6	23,3	
	30,2	27,6	28,4	27,1	24,7	23,8	23,8	23,0	
	30,6	28,0	27,9	27,8	23,9	23,9	23,9	23,6	
Mittelwert	29,96	28,6	28,26	27,66	24,36	23,94	23,84	23,4	26,253
Standardabw.	1,08	0,81	0,42	0,40	0,57	0,17	0,18	0,35	2,54

Messwerte in Ohm

Aufgabe 1c)

Zur Beurteilung der Gesamtproduktion werden der gemittelte Mittelwert (= 26,253 Ω) und die Standardabweichung über alle Messwerte ($s_{\text{gesamt}} = 2,54 \text{ Ω}$) in die Cp- und Cpk-Formel eingesetzt:

$$Cp = \frac{31,83 \text{ Ω} - 23,87 \text{ Ω}}{6 \cdot 2,54 \text{ Ω}} = 0,52 \quad Cpk = \frac{26,253 \text{ Ω} - 23,87 \text{ Ω}}{3 \cdot 2,54 \text{ Ω}} = 0,31$$

Da beide Werte, Cp- und Cpk-Wert, den Schwellenwert von 1,33 weit unterschritten haben gilt: Der Prozess ist nicht fähig (Cp-Wert-Deutung) und nicht beherrscht (Cpk-Wert-Deutung).

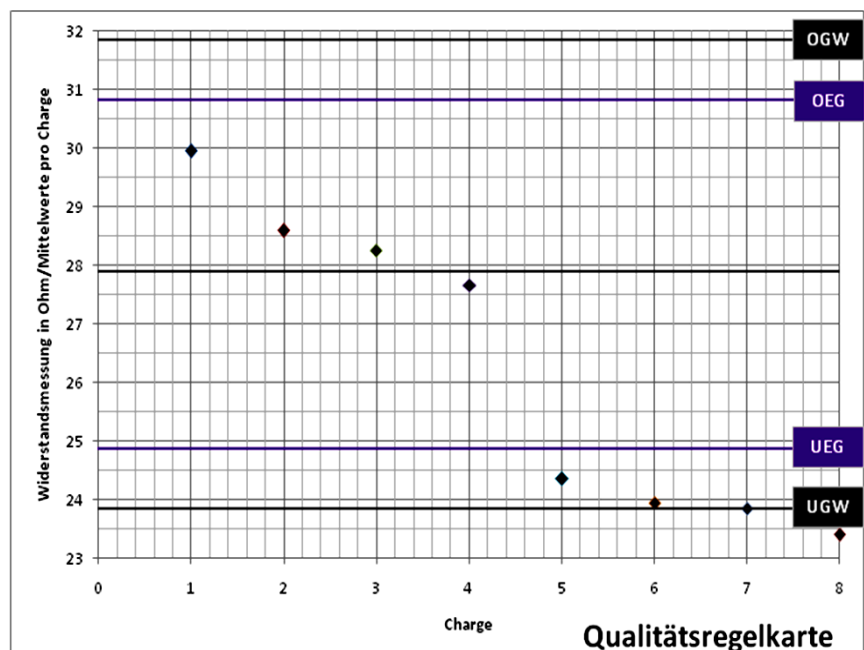
Aufgabe 1d)

OEG=30,84 Ω

UEG=24,87 Ω

Die Mittelwerte fallen von Charge zu Charge stetig ab und überschreiten die untere Eingriffsgrenze und den unteren Sollwert. Hiermit liegt ein sog. „Trend“ vor. Solchen Entwicklungen muss dringend entgegengewirkt werden. Das Überschreiten der

Eingriffsgrenzen hat ein sofortiges Gegenregeln zu Folge, um Ausschuss in der Produktion zu verhindern.



Aufgabe 2a)

Geg.: $a=0,1 \text{ cm}$; $R=30 \Omega$

ges.: spezifischer Widerstand φ

$$U_2 - U_3 = \frac{I}{2\pi\sigma a}$$

$$\frac{\Delta U}{I} \cdot 2\pi a = \frac{1}{\sigma} = \varphi(\text{spezif. Widerstand})$$

$$R \cdot 2\pi a = \varphi$$

$$30\Omega \cdot 2\pi \cdot 0,1\text{cm} = 18,85 \Omega\text{cm}$$

Ja, der spezifische Widerstand beträgt $18,85 \Omega\text{cm}$ und erfüllt somit die geforderten Spezifikationen.

Aufgabe 2b)

gegeben: $a=0,1 \text{ cm}$; $R=30 \Omega$

gesucht: spezifischer Widerstand φ

$$R \cdot 2\pi a = \varphi$$

$$R = \frac{\varphi}{2\pi a}$$

mit $\varphi = 15 \Omega\text{cm}$; $R = 23,87 \Omega$

mit $\varphi = 20 \Omega\text{cm}$; $R = 31,83 \Omega$

Der minimale Widerstand bei der Eingangskontrolle liegt bei $23,9 \Omega$; der maximale Widerstand liegt bei $31,8 \Omega$. Bewegen sich die Messwerte zwischen diesen Werten bzw. erreichen sie gerade exakt diese Grenzwerte, dann genügen die Wafer noch den Anforderungen.

Aufgabe 2c)

gegeben: $\varphi = 18,85 \Omega\text{cm}$; $\mu_p=480 \text{ cm}^2/\text{Vs}$

gesucht: p

(Dotierstoffdichte bezogen auf Bor)

$$\varphi = \frac{1}{q(n \cdot \mu_n + p \cdot \mu_p)}$$

da mit Bor dotiert gilt $p \gg n$; damit kann n vernachlässigt werden

$$\varphi = \frac{1}{q(p \cdot \mu_p)}$$

nach p auflösen:

$$p = \frac{1}{q \cdot \varphi \cdot \mu p}$$

einsetzen:

$$p = \frac{1}{1,602 \cdot 10^{-19} \text{ As} \cdot 18,85 \Omega \text{cm} \cdot 480 \frac{\text{cm}^2}{\text{Vs}}}$$

$$p = 6,9 \cdot 10^{14} \frac{1}{\text{cm}^3}$$

Bei einem über die 4-Spitzen-Messung gemessenen Widerstand von 30Ω lässt sich ein spezifischer Widerstand von $18,85 \Omega \text{cm}$ berechnen und letztendlich eine Dotierstoffdichte für Bor von $p = 6,9 \cdot 10^{14} \frac{1}{\text{cm}^3}$ ableiten.

Aufgabe 2d)

Hierbei handelt es sich um ein sogenanntes p-Substrat. Ist die Konzentration der positiven Ladungsträger besonders erhöht, kennzeichnet man dies als p⁺-Substrat.

Aufgabe 3)

Merkmal	Prozessschritt mit Auswirkung auf das Merkmal
Durchmesser	Durch das Grinding wird der Wafer auf das geforderte Maß abgedreht und bekommt so den gewünschten Durchmesser.
Dicke	Der Sägeprozess legt zunächst die Ausgangsdicke fest, die in späteren Läpp-, Polier- und Ätzschritten weiter verringert wird.
Keiligkeit	Diese Merkmale werden durch die Läpp-, Polier- und Ätzprozesse direkt beeinflusst.
Durchbiegung	
Ebenheit	
Orientierung	Die Orientierung wird unmittelbar durch den Impfkristall bei der Herstellung des Ingots festgelegt.
Flatlage	Da sich die Flats direkt auf die Orientierung beziehen, ist die Lage der Flats vom Herstellungsprozess der Ingots abhängig.
Rückseite	Die Rückseite kann bei Ätzprozessen durch Aufbringen einer Schutzschicht vor Ätzangriffen geschützt werden.
Scheibenvorderseite	Diese Merkmale werden durch die Läpp-, Polier- und Ätzprozesse direkt beeinflusst.
Herstellungsart	Die Wahl des Herstellungsverfahrens (CZ oder FZ) ist für die Güte des Kristalls ausschlaggebend.
Leitungstyp	Die Dotierung während des Herstellungsprozesses gibt den Leitungstyp (p- oder n-Leiter) vor.
Dotierung	Durch die Zugabe des Dotierstoffes während des Herstellungsverfahrens werden Dotierstoffart und -menge festgelegt.
spezifischer Widerstand	Über die Dotierstoffmenge steuert man die Leitfähigkeit des Kristalls. Deshalb ist die Zugabe an Dotierstoffen im Herstellungsprozess des Einkristalls wichtig für die Festlegung des spezif. Widerstandes.

