

Einführung

- Bei der Bulk-Mikromechanik werden die mikromechanischen Strukturen aus dem Volumen (Bulk) des Wafermaterials (Einkristall) herausgeätzt
 - Das Ätzen erfolgt anisotrop, nasschemisch entlang den Kristallebenen des Wafers
 - Die möglichen Strukturen sind durch die Ebenen im Einkristall vorbestimmt:
 - Es gibt nur wenige Basisstrukturen
 - Designs müssen weitgehend mit diesen Basisstrukturen realisiert werden.
 - Die herausgeätzten Strukturen bestehen aus einem Einkristall:
 - keine Korngrenzen
 - Strukturen sind ermüdungsfrei!
 - Die maximale Strukturhöhe ist durch die Waferdicke limitiert:
 - Standardwaferdicke: ca. $525\mu\text{m}$
-

Grundlagen des anisotropen Ätzens von Si

Beobachtung:

- Ätzraten sind eine Funktion der Orientierung des Einkristalls:
 - freigelegte Struktur ist durch die am langsamsten geätzten Ebenen bestimmt
- Die am langsamsten geätzte Ebenen ist die „Ätzstoppebene“:
 - die Ätzstoppebenen werden natürlich auch geätzt, jedoch nur viel langsamer!
- Alle anisotrope Ätzlösungen für Silizium sind basisch

Vorteile des anisotropen Ätzens entlang von Kristallebenen:

- Große und sehr glatte Flächen können erzeugt werden
- Sehr einfacher und vorhersagbarer Prozess

Nachteil:

- Genauigkeit der Kristallorientierung bestimmt Genauigkeit der Mikrostruktur

Anisotropes Ätzen ist das Arbeitspferd in der Siliziummikromechanik!

Die wichtigsten Ätzlösungen

Die wichtigsten Ätzlösungen sind:

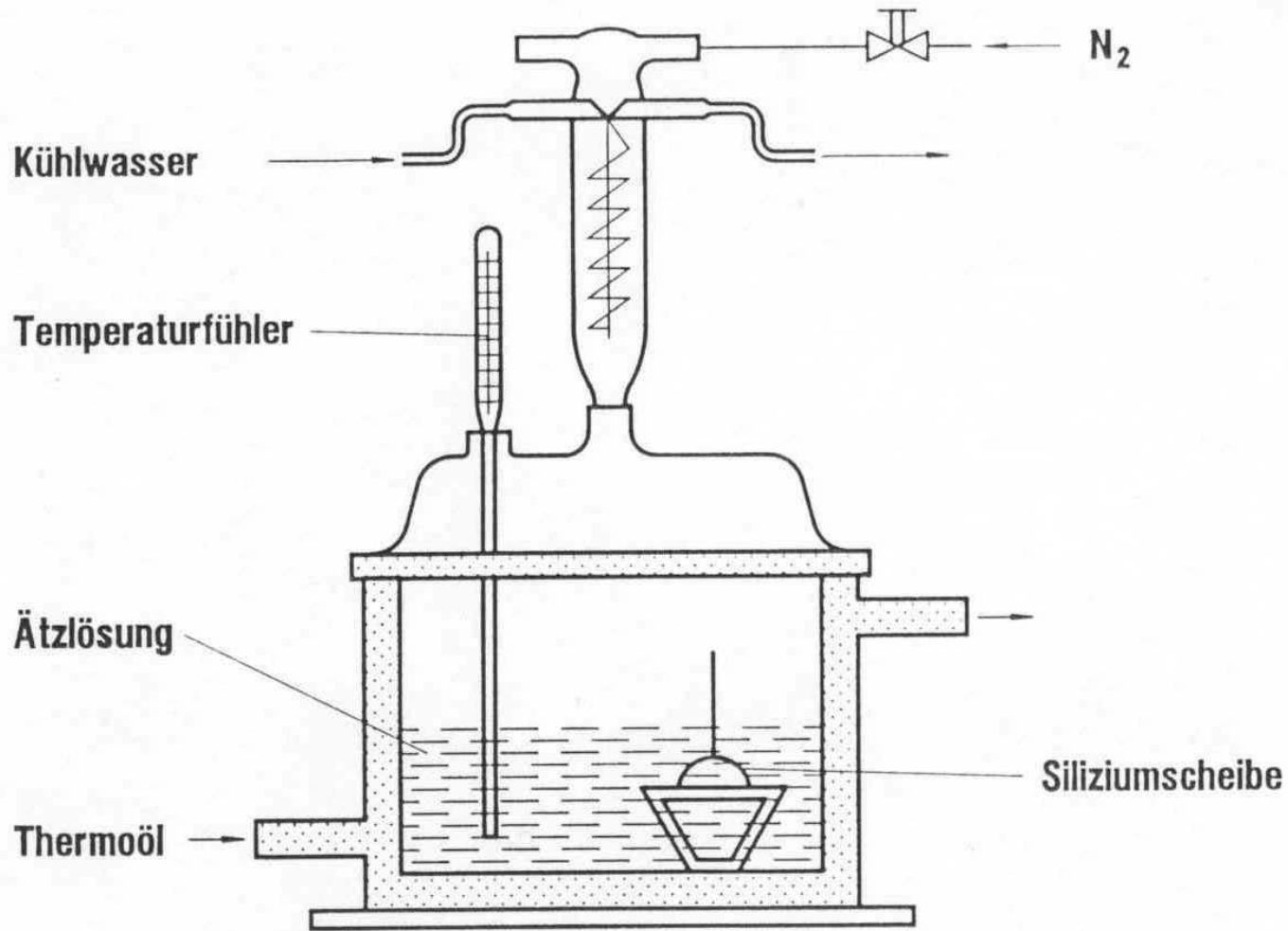
- KOH + H₂O:
 - Anisotropie (100)/(111): 400
 - Anisotropie (110)/(111): 600
- EDP Ethylendiamin NH₂(CH₂)₂NH₂ + Brenzkatechin C₆H₄(OH)₂ (Pyrokatechol) (+ Pyrazin):
 - Anisotropie (100)/(111): 35
 - EDP ist sehr giftig, daher wird bevorzugt KOH eingesetzt
- TMAH TetraMethylAmmoniumHydroxid:
 - Anisotropie (100)/(111): 12,5 - 50

Uneinheitliche Angaben in Literatur !!!

Ätzbäder für das anisotrope Ätzen von Si

Ätzlösung (Lösungsmittel)	Zusammen- setzung	Temp. [°C]	Ätzrate (100) [μm/min]	Ätzraten- Verhältnis (100)/(111)	Maske (Ätzrate [Å/min])
KOH (H ₂ O)	44 g 100 ml	85	1.4	400:1	Si ₃ N ₄ (<1) SiO ₂ (14)
NaOH (H ₂ O)	10 g 100 ml	65	0.25 - 1.0	>300:1	Si ₃ N ₄ (<1) SiO ₂ (7)
Ethylendiamin Brenzkatechin (H ₂ O) EDP	750 ml 120 g 240 ml	115	1.25	35:1	Si ₃ N ₄ (1) SiO ₂ (2) Ta, Au, Cr Ag, Cu
Hydrazin (NH ₂) ₂ (H ₂ O)	100 ml 100 ml	100	2.0	10:1	SiO ₂ (<2)

Apparatur zum KOH-Ätzen



Ätzrate von (100)-Silizium für KOH

% KOH	Temperatur in °C							Ätzraten [$\mu\text{m}/\text{h}$]	
	20	30	40	50	60	70	80	90	100
10	2,21	4,84	10,1	20,1	38,4	70,7	125	216	361
15	2,33	5,10	10,6	21,1	40,5	74,4	132	227	381
20	2,34	5,13	10,6	21,2	40,6	74,8	132	228	382
25	2,27	4,98	10,3	20,6	39,5	72,6	129	222	371
30	2,14	4,69	9,7	19,4	37,2	68,4	121	209	350
35	1,96	4,29	8,9	17,8	34,1	62,7	111	191	320
40	1,74	3,82	7,9	15,8	30,3	55,7	99	170	285
45	1,50	3,29	6,8	13,6	26,1	48,0	85	146	245
50	1,24	2,73	5,6	11,3	21,6	39,8	70	121	203
55	0,99	2,16	4,5	8,9	17,1	31,5	56	96	161
60	0,74	1,62	3,3	6,7	12,8	23,6	42	72	120

Quelle: Heuberger

Basisstrukturen beim KOH-Ätzen

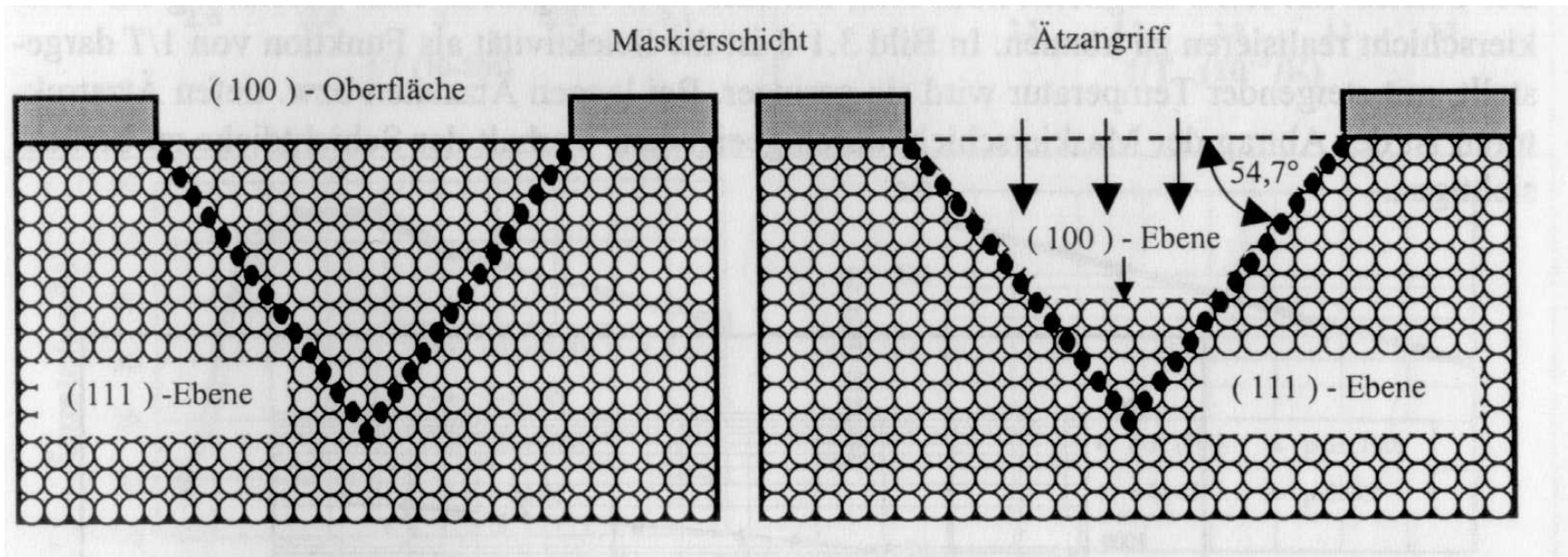
Winkel zwischen den wichtigsten Ebenen und der Ätzstoppebene {111}:

{hkl}	{h'k'l}	Winkel zwischen {hkl} und {h'k'l}	
100	111	54.74°	
110	111	35.26°	90°

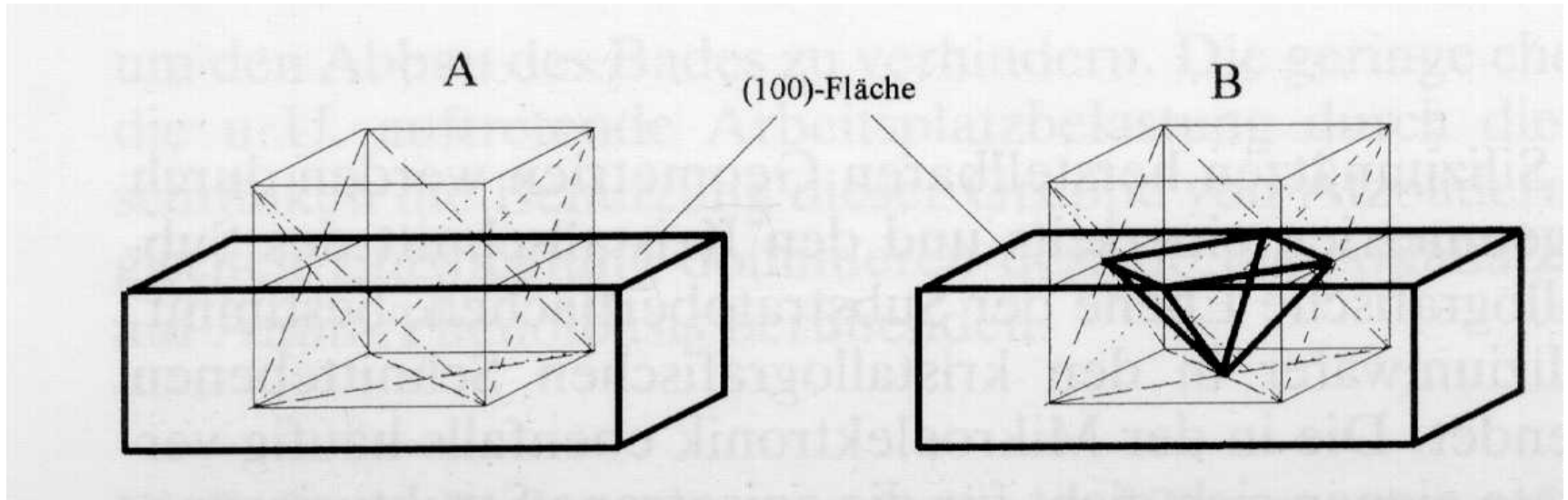
Grundregeln für die Unterätzung von Masken

- KOH unterätzt eine Maske, bis eine Ätzstoppebene erreicht wird
 - Ätzstoppebenen sind nur wirksam wenn sie in einer konkaven Ecke münden
 - Konvexe Ecken werden bei ausreichender Ätzzeit komplett unterätzt
-

Ätzprozess im (100)-Wafer



Kristallographisches Ätzen in (100)-Silizium



Ätzprozess im (100)-Wafer

