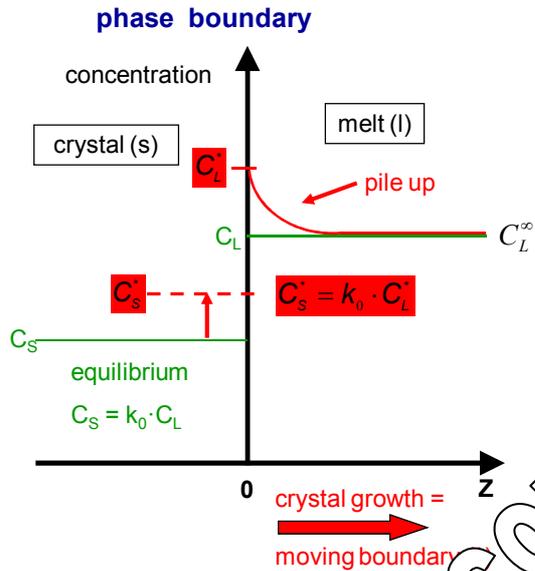


Effektiver Verteilungskoeffizient k_{eff}



problem: C_s^* is unknown
only C_L^∞ is known

$\Rightarrow C_s^* = k_{eff} \cdot C_L^\infty$

$k_{eff} = f(\text{growth rate and species transport in the melt})$

models for k_{eff} :

$k_{eff} = \frac{k_0}{1 + \frac{R \cdot \delta}{D}}$

(Burton, Prim, Trivedi, 1953)

fit parameter δ (diffusivity parameter)

advanced model of k_{eff} without fit parameter, see Ostrogorski and Müller (1992)

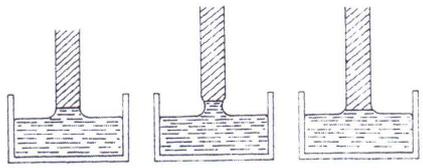
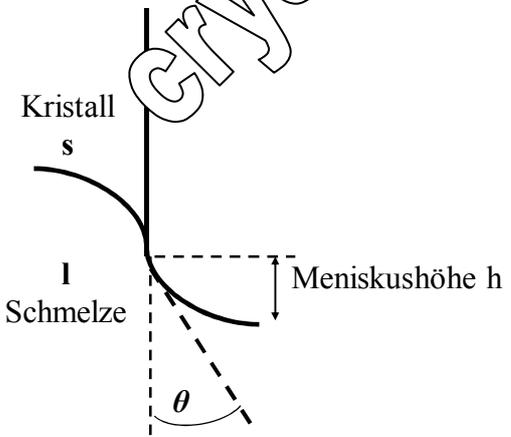
Kap. 4 - 9



CRYSTAL CONSULTING

Durchmesserkontrolle beim Cz - Verfahren

Höhe h des Schmelzmeniskus bestimmt Durchmesser des wachsenden Kristalls



- $h = h_0, \theta = 12^\circ$: konstanter Durchmesser
- $h > h_0, \theta < 12^\circ$: Durchmesserabnahme
- $h < h_0, \theta > 12^\circ$: Durchmesserzunahme

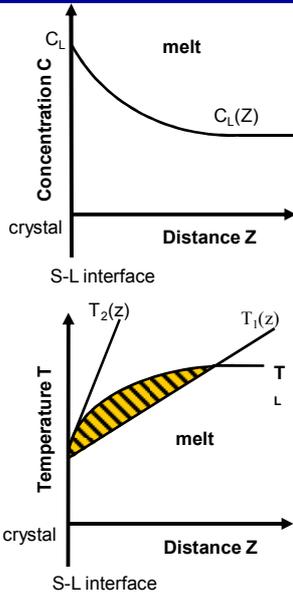
- Durchmesser wird durch Variation der Ziehgeschwindigkeit geregelt;
- Temperaturbeeinflussung ist zu träge die Heizleistung wird nur bei starker Abweichung vom Sollwert verändert

Kap. 2 -18



CRYSTAL CONSULTING

Instabilität der Phasengrenze infolge von Segregation: konstitutionelle Unterkühlung



case $T_1(z)$
constitutionally supercooled melt region
 $T(z) < T_m$ for $z > 0$

→ any fluctuation would form a protuberance on the crystal, which would find itself in a region of supercooling and hence can grow very rapidly

recommendation for melt growth:

avoid constitutional supercooling by:

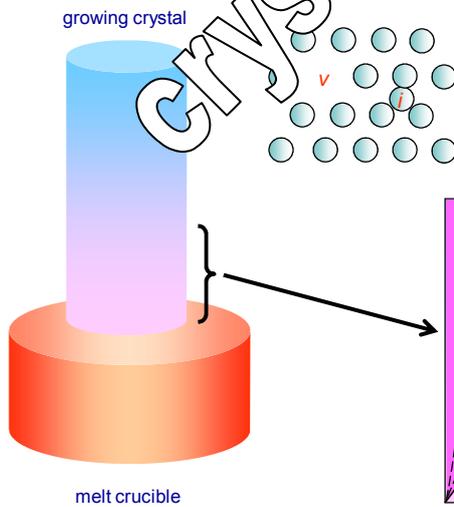
- (i) high temperature gradients in the melt [profile $T_2(z)$]
- (ii) removal of segregated species in front of the interface (e.g. by convection, buoyancy, time-dependent magnetic fields, vibration etc.)

Kap. 4 - 13



Bildung der Si-Frenkelfekte bei Kristallisation

Si-Frenkel Cz-Prozess



V_{Si} und I_{Si} werden beim Kristallwachstum an der Phasengrenze mit der jeweiligen Gleichgewichtskonzentration C_o^V , C_o^I bei $T_m = 1420^\circ\text{C}$ gebildet

$C_i > C_v$
I-reich

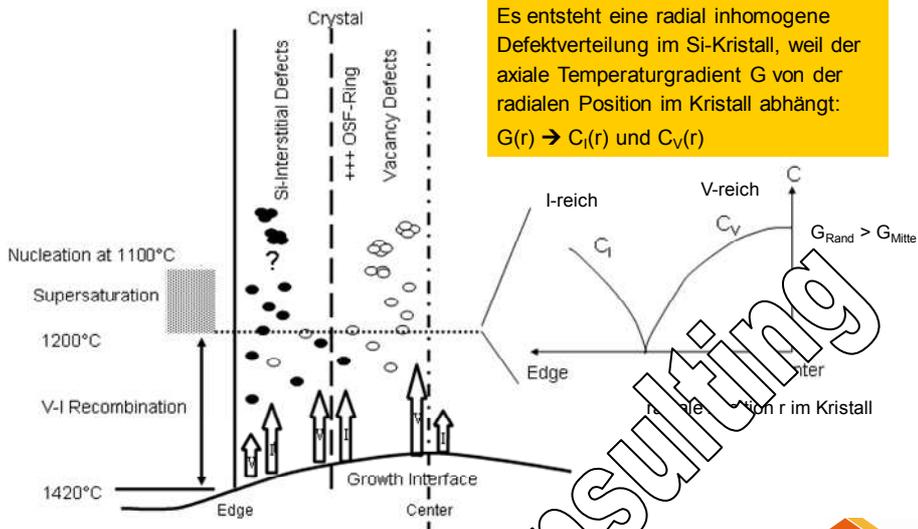
Typisches Ergebnis
(Erklärung später)

$C_i < C_v$
V-reich

Kap. 6 - 10



Defektverteilung im wachsenden Si-Kristall

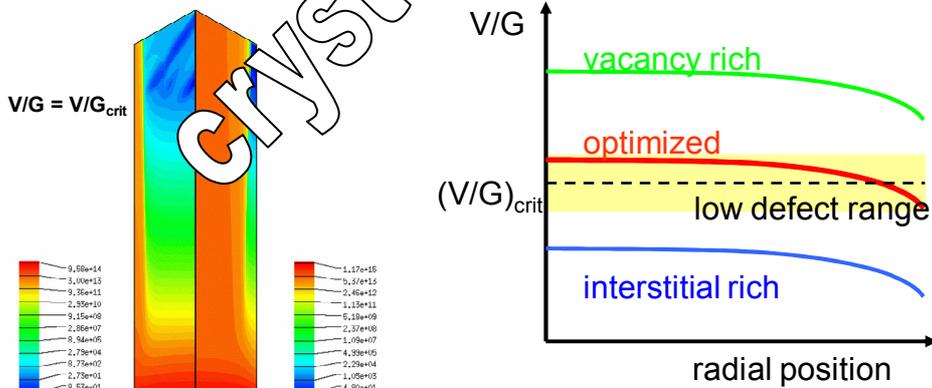


Kap. 5 - 13

CRYSTAL CONSULTING

Beispiel für Prozessoptimierung Cz - Si

Goal: $V/G \approx (V/G)_{crit}$ für alle r Positionen

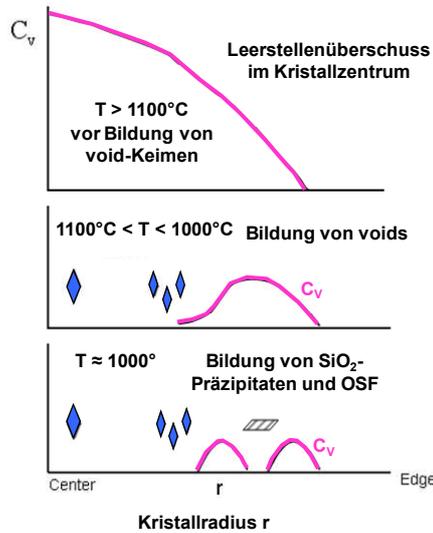


V = growth rate
 G = axial temperature gradient near the interface

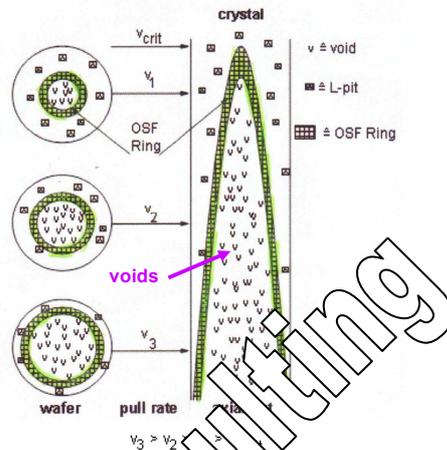
Kap. 5 - 17

CRYSTAL CONSULTING

Kinetik der Entstehung von Sauerstoff - korrelierten Defekten in Si, z.B. OSF



Quer- und Längsschnitte durch Si-Cz-Kristall gezüchtet mit unterschiedlichen Raten $v_1 < v_2 < v_3$



Quelle: v. Czochr. Kap. 5 - 49

Quellen und Transportwege für Verunreinigung von Si mit C

Quelle/Ursache*

Kontakt von SiO₂-Tiegel mit Graphit-Anbauten

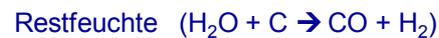


Transport von C über gasförmiges CO

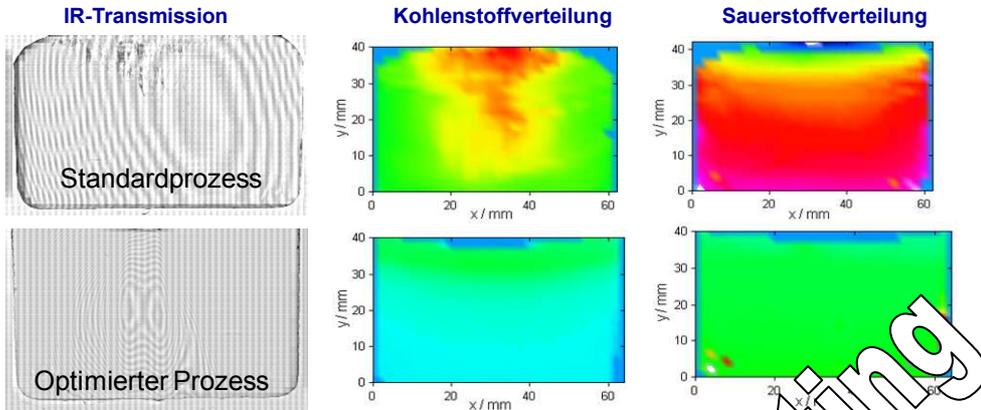
Vermeidungsstrategien

- Kontakt von SiO₂ und Graphit vermeiden
- Abtransport von CO (und SiO) mit Gasspülung
- Verhinderung des Einbaus von SiC in Kristall

*weitere Quellen



Reduktion der Konzentration von C und O in der Schmelze durch geeignete Prozessführungen bei Si - VGF (vgl. Kap.7)



IR-Durchlichtaufnahmen (links) und mittels FTIR gemessene Kohlenstoff- (Mitte) und Sauerstoffverteilungen (rechts) für Standardprozess (oben) und optimierten Prozess (unten).

Quelle: C. Reimann, IISB Erlangen 2007

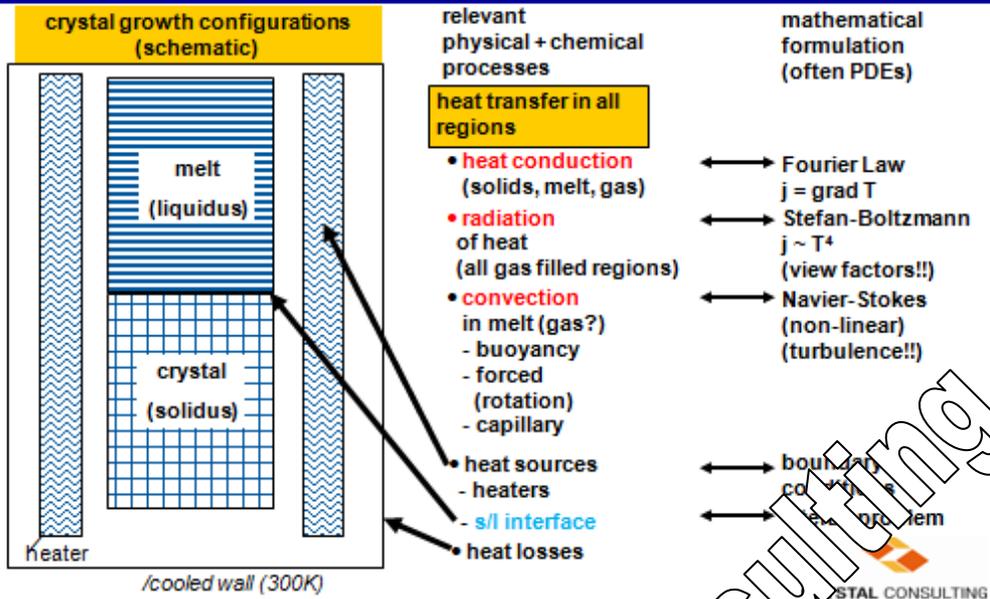


Zielsetzung der Modellierung

Verständnis des Zusammenhangs zwischen Kristalleigenschaften und Kristallzuchtungsbedingungen



Modellierung des Wärmetransports und der Temperaturverteilung $T(x,y,z,t)$ in der Züchtungsanlage



Prinzip der Simulation eines Züchtungsprozesses

