

HAHN-SCHICKARD-INSTITUT FÜR MIKRO- UND INFORMATIONSTECHNIK

VILLINGEN-SCHWENNINGEN



Junghans-Villa

EINLADUNG ZUM FORTBILDUNGSSEMINAR

TECHNOLOGIEN FÜR DIE HERSTELLUNG MIKROMECHANISCHER BAUELEMENTE

am 18. und 19. November 1991
im Hahn-Schickard-Institut

Anschrift

Roggenbachstraße 6 · W-7730 Villingen-Schwenningen
Telefon (07721) 2002-0 · Fax (07721) 2002-29

*Eine Aktivität des Dienstleistungszentrums Mikromechanik,
unterstützt im Rahmen des Förderschwerpunkts Mikrosystem-
technik des Bundesministers für Forschung und Technologie.*



Dienstleistungszentrum Mikromechanik
am Hahn-Schickard-Institut
für Mikro- und Informationstechnik

Aufgabe des HSI ist die Durchführung anwendungsorientierter Forschung auf den Gebieten der Mikrostrukturtechnik, Mikrosystemtechnik, Aufbau- und Verbindungstechnik und Oberflächentechnik, sowie die Umsetzung von wissenschaftlichem Know-how in neue innovative Produkte. Dieses Ziel soll durch verschiedene Formen des Technologietransfers erreicht werden. Unternehmen können sich über spezielle Themen im Bereich Forschung und Entwicklung informieren, über die technische Machbarkeit einer Produktidee beraten lassen, sowie technologische Dienstleistungen im Rahmen der Möglichkeiten des Instituts in Anspruch nehmen.

Eine wichtige Voraussetzung für Produktinnovation ist die frühzeitige Information über neue Entwicklungen und technische Möglichkeiten. Dazu bietet das HSI schon seit längerem Dienstleistungen an. Fachleute aus Forschung und Industrie referieren regelmäßig im **Mikrotechnischen Kolloquium**. Diese Veranstaltung soll Interessenten die Möglichkeit eröffnen, neueste Entwicklungen zu verfolgen, Kontakte herzustellen und einen regen Gedankenaustausch mit Fachleuten zu pflegen. Ein weiteres Angebot ist die **Dokumentation Mikrotechnik**. Die monatlich erscheinenden Ausgaben enthalten Zusammenfassungen und kurze Bewertungen von jeweils 20 wichtigen Arbeiten aus der Mikrotechnik. Die Abonnenten dieses Dienstes verfügen somit über ausgewählte und aufbereitete Literatur.

Durch die Förderung als eines der z.Z. 12 „Dienstleistungszentren Mikrosystemtechnik“ ist es dem HSI möglich, sein schon bestehendes Angebot maßgeblich zu erweitern.

Da effiziente Informationsbeschaffung durch die rasante Entwicklung von Wissenschaft und Technik zu einem zentralen Thema geworden ist, führt das HSI Aufträge zu **Literatur- und Patentrecherchen** durch.

Die Qualifikation von Mitarbeitern auf den interdisziplinären Fachgebieten der Mikrosystemtechnik ist von ausschlaggebender Bedeutung für die erfolgreiche Entwicklung und Markteinführung entsprechender Produkte. Deshalb bietet das HSI **Fortbildungsseminare** an. Diese Schulungen sollen in verschiedene Gebiete einführen oder der Vertiefung von Wissen dienen und insbesondere praktische Erfahrungen im Umgang mit den Technologien der Mikrosystemtechnik vermitteln.

Bitte hier abtrennen

Anmeldung zum Fortbildungsseminar

TECHNOLOGIEN FÜR DIE HERSTELLUNG MIKROMECHANISCHER BAUELEMENTE

18. – 19. November 1991

Bitte beachten Sie die Rückseite des Anmeldeformulars.

Hahn-Schickard-Institut für
Mikro- und Informationstechnik
z. Hd. Frau K. Winker
Roggenbachstraße 6
W-7730 Villingen-Schwenningen

Name, Vorname: _____

Telefon (-Durchwahl): _____

Abteilung/Funktion: _____

Firma: _____

Firma ist Mitglied der HSG: ☐ Ja ☐ Nein

Straße: _____

PLZ/Ort: _____

Mehrere Seminarteilnehmer aus einer Firma: ☐ Ja ☐ Nein

Datum: _____ Unterschrift: _____

Allgemeines

Das Seminar gibt einen detaillierten Überblick über die Technologien, die bei der Herstellung mikromechanischer Bauelemente Verwendung finden und zeigt darüberhinaus einige exemplarische Anwendungsmöglichkeiten im Hinblick auf neue innovative Produkte auf. Es ist konzipiert für Physiker, Ingenieure und Techniker, die im Bereich Forschung und Entwicklung tätig und an mikrosystemtechnischen Aufgabenlösungen interessiert sind. Es werden aber auch Führungskräfte angesprochen, die, bedingt durch Aufgaben im Bereich des Managements, einen Überblick über diese Technologien benötigen. Vorkenntnisse aus dem Bereich Halbleitertechnologie sind hilfreich, aber nicht Voraussetzung.

Programm

Montag, 18. 11. 1991:

- 09.15 1. Begrüßung
09.30 2. Einführungsvortrag: Innovationspotential der Mikrosystemtechnik
(Prof. Dr. S. Büttgenbach, TU Braunschweig)
10.00 3. Aktivitäten und Erfahrungen des VDI/VDE-IT als Promoter der Mikrosystemtechnik
(W. Groß, VDI/VDE-IT)
10.30 Kaffeepause
11.00 4. Einführung der Mikrosystemtechnik in ein großes Unternehmen (NN)
11.30 5. Erfahrungen eines mittelständischen Unternehmens mit der Mikrotechnik (R. Jäckle, GMS)
12.00 Mittagspause
13.30 6. Beispiele mikromechanischer Sensoren und Aktoren und deren physikalische Prinzipien
(Dr. B. Schmidt, HSI)
14.30 7. Reinraumtechnik (Klassifizierung, Kontaminationen, Konzeptionen) (Dr. H. Pavliček, HSI)
15.00 Kaffeepause
15.20 8. Entwurf und Simulation mikromechanischer Bauelemente
8.1 Design und Test (M. Ashauer, HSI)
16.00 8.2 Prozeß- und Bauteil-Simulation (T. Fabula, HSI)

- 16.40 Demonstrationen im Labor:
• Layout und FEM mit PC bzw. Workstation
• Mikromechanische Strukturen unter dem Raster-elektronenmikroskop
18.00 Gemeinsames Abendessen (Buffet in der Cafeteria des Instituts)

Dienstag, 19. 11. 1991:

- 09.00 • Vorführung des Lehrfilms *Silicon Run*
09.30 9. Prozesse und Technologieausstattung für die Mikromechanik
9.1 Übersicht über mikromechanische Prozeßschritte, Substrat- und Schichtmaterialien, 3D-Strukturen und Reinigungsprozesse
(Dr. M. A. E. Wandt und W. Bach, HSI)
10.30 Kaffeepause
11.00 9.2 Prozesse zur Herstellung von Schichten
– Thermische Oxidation und Diffusion
(U. Nothelfer, HSI)
– CVD-Prozesse (Chemical Vapor Deposition)
(Dr. H. Pavliček, HSI)
– PVD-Prozesse (Physical Vapor Deposition)
(H.-J. Wagner, HSI)
12.00 Mittagspause
13.30 9.3 Lithographie (R. W. Gerdau, HSI)
14.00 9.4 Ätztechniken
– Trocken-Ätztechnik (U. Nothelfer, HSI)
– Naß-Ätztechnik (A. Schumacher, HSI)
– Laserunterstütztes anisotropes Ätzen
(Dr. M. Alavi, HSI)
15.00 Kaffeepause
15.30 9.5 Aufbau- und Verbindungstechnik
(Dr. M. Alavi, HSI)
16.00 9.6 Prozeßbegleitende Meßtechniken und Qualitätssicherung
(Dr. H. Fischer, HSI)
16.30 Abschließende Diskussion

Anschließend Möglichkeit zur Besichtigung des Hahn-Schickard-Instituts (HSI).

Für **Rückfragen** steht Ihnen gerne Herr Dr. R. Günzler, Telefon (077 21) 2002-41, zur Verfügung.

Teilnahmebedingungen

Die Anmeldungen werden in der Reihenfolge des Eingangs berücksichtigt. Bitte verwenden Sie das rückseitige Formular. Sie erhalten von uns eine schriftliche Anmeldebestätigung.

Da wir nur einer begrenzten Teilnehmerzahl zusagen können, behalten wir uns vor, bei einem Rücktritt 14 Tage vor der Veranstaltung eine Pauschale von 20 Prozent und 8 Tage vor Veranstaltungsbeginn die volle Teilnahmegebühr in Rechnung zu stellen.

Teilnahmegebühr

595,— DM (zuzügl. gesetzl. MWSt)

Falls mehrere Mitarbeiter eines Unternehmens an dem Seminar teilnehmen sowie für Mitgliedsfirmen der Hahn-Schickard-Gesellschaft für angewandte Forschung e.V., wird ein Nachlaß von jeweils 10 Prozent gewährt.

Die Teilnahmegebühr beinhaltet 2 Mittagessen, das Buffet am ersten Abend, Pausengetränke sowie ausführliche schriftliche Unterlagen zum Seminar.

Unterbringung

Wir haben bis zum 01. 11. 1991 Unterkünfte in Villingen reserviert. Falls Sie dieses Angebot wahrnehmen möchten, bitten wir die gewünschte Kategorie anzukreuzen.

- ☐ Einzelzimmer ☐ Doppelzimmer
☐ bis 80,— DM ☐ 80,— DM bis 120,— DM ☐ ab 120,— DM

HAHN-SCHICKARD-INSTITUT FÜR MIKRO- UND INFORMATIONSTECHNIK

VILLINGEN-SCHWENNINGEN

FORTBILDUNGSSEMINAR

TECHNOLOGIEN FÜR DIE HERSTELLUNG MIKROMECHANISCHER BAUELEMENTE

am 17. und 18. Februar 1992

*Eine Aktivität des Dienstleistungszentrums Mikromechanik, unterstützt im Rahmen des
Förderschwerpunkts Mikrosystemtechnik des Bundesministers für Forschung und Technologie*

Programm

Montag, 17.02.1992:

- 09.¹⁵ 1. Begrüßung
- 09.³⁰ 2. Einführungsvortrag: Innovationspotential der Mikrosystemtechnik
(Prof. Dr. S. Büttgenbach, TU Braunschweig)
- 10.⁰⁰ 3. Aktivitäten und Erfahrungen des VDI/VDE-IT als Promoter der Mikro-
systemtechnik (W. Groß, VDI/VDE-IT)
- 10.³⁰ Kaffeepause
- 11.⁰⁰ 4. Einführungsprobleme der Mikrosystemtechnik in einem großen Unternehmen
(Dr. Schmidt-Bischoffshausen, MBB)
- 11.³⁰ 5. Erfahrungen eines mittelständischen Unternehmens mit der Mikrotechnik
(R. Jäckle, GMS)
- 12.⁰⁰ Mittagspause
- 13.³⁰ 6. Beispiele mikromechanischer Sensoren und Aktoren und deren physikalische
Prinzipien (Dr. B. Schmidt, HSI)
- 14.³⁰ 7. Reinraumtechnik
(Dr. H. Pavliček, HSI)
- 15.⁰⁰ Kaffeepause
- 15.²⁰ 8. Entwurf und Simulation mikromechanischer Bauelemente
- 16.⁰⁰ 8.1. Design und Test (M. Ashauer, HSI)
- 16.⁰⁰ 8.2. Prozeß- und Bauteil-Simulation (T. Fabula, HSI)

16.⁴⁰ Demonstrationen im Labor:

- Layout und FEM mit PC bzw. Workstation
- Mikromechanische Strukturen unter dem Rasterelektronenmikroskop/
Lichtmikroskop

18.⁰⁰ Gemeinsames Abendessen (Buffet in der Cafeteria des Instituts)

Dienstag, 18.02.1992:

09.⁰⁰ • Vorführung des Films *Silicon Run*

09.³⁰ 9. Prozesse und Technologieausstattung für die Mikromechanik

9.1. Übersicht über mikromechanische Prozeßschritte, Substrat- und Schichtmaterialien und 3D-Strukturen (Dr. M.A.E. Wandt, HSI)

9.2. Prozesse zur Herstellung von Schichten
- Reinigung (W. Bach, HSI)

10.³⁰ Kaffeepause

- 11.⁰⁰
- Thermische Oxidation (U. Nothelfer, HSI)
 - CVD-Prozesse (Chemical Vapor Deposition) (Dr. H. Pavliček, HSI)
 - PVD-Prozesse (Physical Vapor Deposition) (R.W. Gerdau, HSI)

12.⁰⁰ Mittagspause

13.³⁰ 9.3. Lithographie (R.W. Gerdau, HSI)

14.⁰⁰ 9.4. Ätztechniken

- Trocken-Ätztechnik (U. Nothelfer, HSI)
- Naß-Ätztechnik (A. Schumacher, HSI)
- Laserunterstütztes anisotropes Ätzen (Dr. M. Alavi, HSI)

15.⁰⁰ Kaffeepause

15.³⁰ 9.5. Aufbau- und Verbindungstechnik (Dr. M. Alavi, HSI)

16.⁰⁰ 9.6. Prozeßbegleitende Meßtechniken (Dr. H. Fischer, HSI)

16.³⁰ Abschließende Diskussion

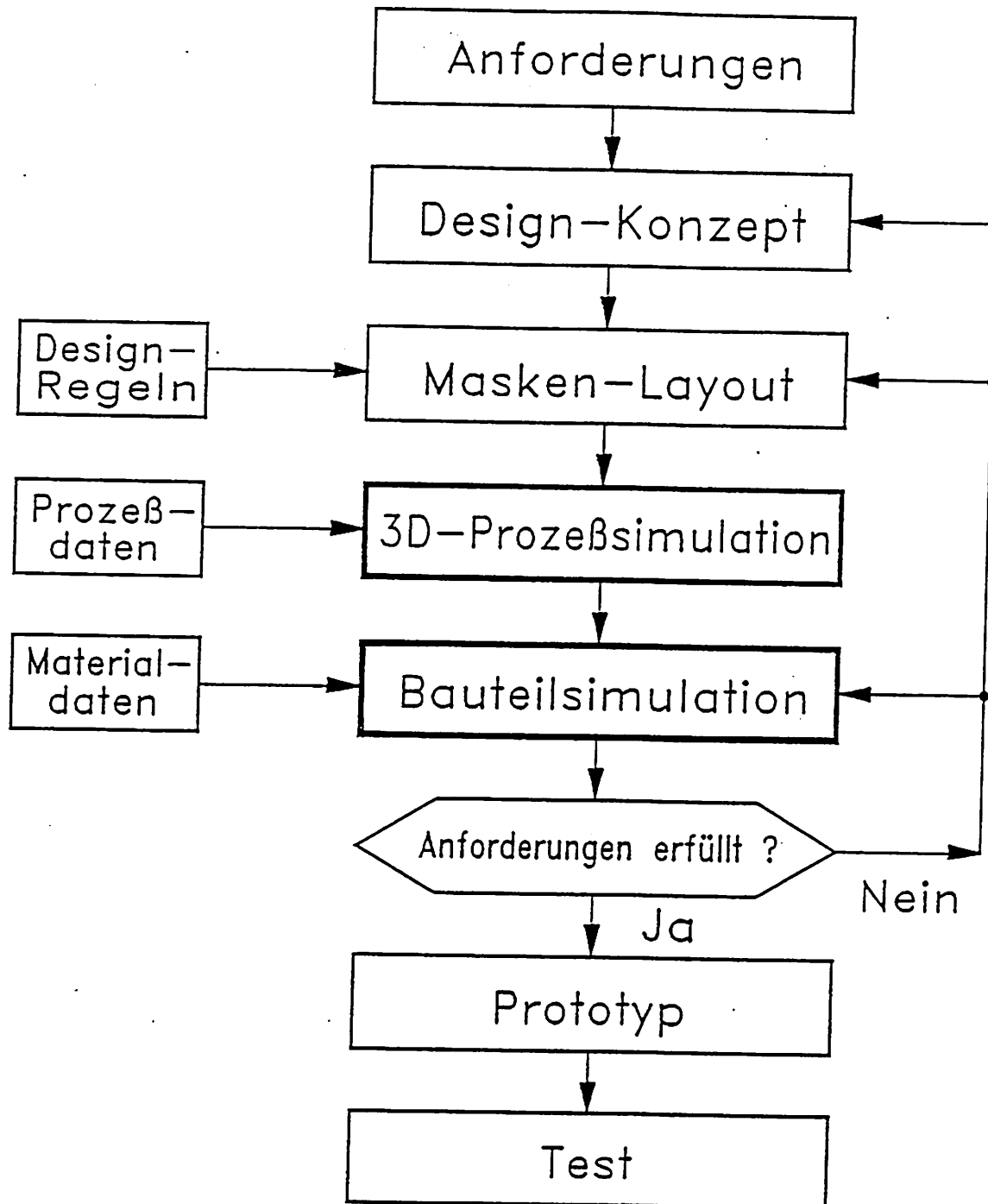
8.2 Prozeß- und Bauteilsimulation

Th. Fabula

Gliederung:

- Prozeßsimulation in der Mikroelektronik
- Prozeßsimulation in der Mikromechanik
 - ⇒ Programm MEMCAD
 - ⇒ Programm SIMODE
- Bauteilmodellierung in der Mikromechanik
- Finite-Elemente-Methode
 - ⇒ piezoresistiver Drucksensor
- FE-Berechnungsbeispiele
- Zusammenfassung

Mikromechanik-Entwurf:



Warum: Modellierung ?

Motivation...

Vorhersage vor der Herstellung

Parametervariation

⇒ Prozeßverhalten

⇒ Bauteilverhalten

Optimierung bereits im Vorfeld

Machbarkeitsanalysen

⇒ Verifikation von Funktionsprinzipien

Toleranzabschätzungen

SW-Kosten \ll HW-Kosten

Durchlaufzeiten: $t_{sw} \ll t_{hw}$

more
simulations ~~TRY~~ AND ~~less~~ ERRORS

Prozeßsimulation - Mikroelektronik

Ziel: Ableitung der strukturellen und elektrischen Bauteileigenschaften

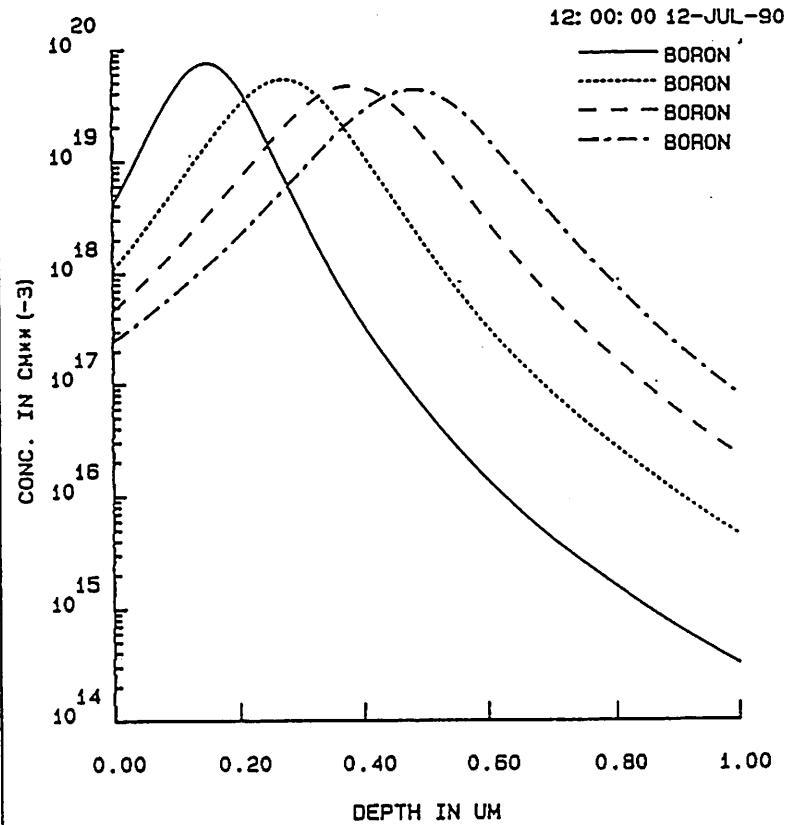
Prozesse: Ionenimplantation, Diffusion, Oxidation, Epitaxie, Schichtabscheidung, Ätzen, Optische Lithographie

Unterteilung: 1D-Simulatoren (ICECREAM, SUPREM-3)
2D-Simulatoren (COMPOSITE, TSUPREM-4)

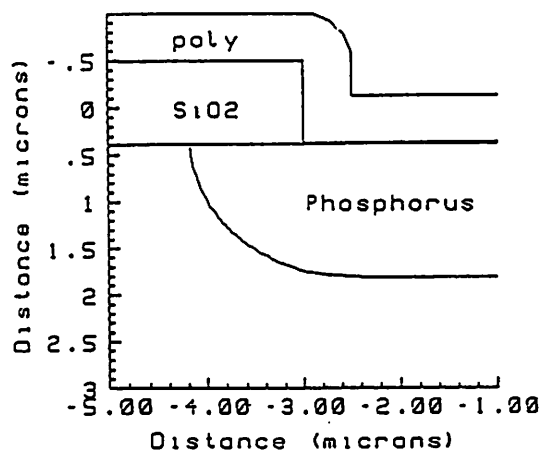
Resultate: ⇒ Dotierprofile (Konz. $N = f(\text{Tiefe})$)
⇒ Wafertopographie (ortsabh. Dotierprofile)
⇒ Sensitivitätsanalysen (Prozeßparameter-einflüsse auf Bauteilverhalten)

Kalibration der Prozeßparameter erfolgt über einen Fit an die experimentellen Daten

Example 1 of the ICECREM version 4.2 user's guide
 Four implantations with four different energies
 and one dose of $1e15 \text{ cm}^{-2}$ Boron
 Energies : 40 keV, 80 keV, 120 keV, 160 keV



TMA TSUPREM-4



Anforderungen an die Prozeßsimulation in der Mikromechanik

Ziel: Ableitung der 3D-Geometrien und der elektrischen, mechanischen, thermischen (...) Materialeigenschaften der μ mechanischen Bauteile

Abgrenzung zu Mikroelektronik:

Tiefenstrukturierung

beidseitige Scheibenprozessierung (Lithographie)

Aufbau und Verbindungstechnik

Anwendungsgebiete:

- ⇒ Schichtabscheidung (z.B. LPCVD-Nitrid)
- ⇒ Strukturierung (z.B. naßchem. anisotropes Ätzen)
- ⇒ Thermische Prozesse (z.B. Ofenprozesse, Bonden)

Problem:

Modellbildung für die mikromechanische Prozeßsimulation ist z.Zt. nur begrenzt vorhanden

Programm: MEMCAD

(S.D. Senturia, Transducers'91)

Ableitung der:

3D-Bauteilgeometrie

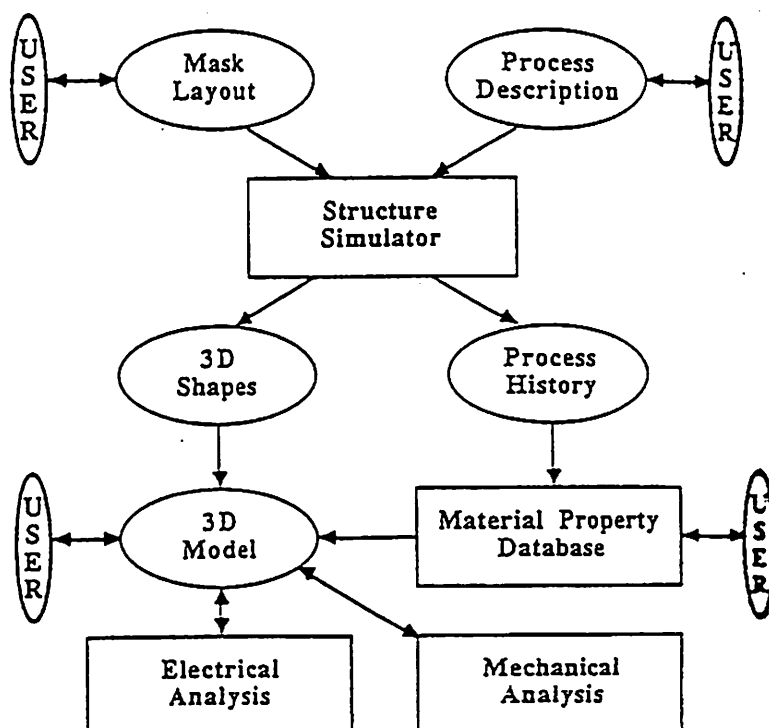
prozeßabhängigen Materialdaten

Objekt-orientiertes Materialdatenbanksystem (MPD):

algebraische Beschreibung der Materialeigenschaften

in Abhängigkeit des Prozeßablaufs und der -parameter

(⇒ empirische Datensammlung, Referenzen)



Programm: MEMCAD

Materialauswahl:

1. silicon nitride
2. silicon dioxide

Please enter the number of your choice: 1

Prozeßauswahl:

1. A.P.C.V.D.
2. P.E.C.V.D.
3. L.P.C.V.D.

Please enter the number of your choice : 3

Eigenschaft:

1. dielectric constant ()
2. Poisson ratio ()
3. thermal expansion_coef (1/C)
4. density (kg/m^3)
5. residual stress (MPa)
6. Young's Modulus (MPa)
7. refractive index ()

Please enter the number of your choice: 5

Material: silicon nitride
Process: L.P.C.V.D.
Property: residual stress

< searching database >

The following functional dependence has been observed:
residual stress (MPa)

$$\sigma = 10.7 r^2 + 1.22 r - .219 rT - 1.86T + 2260$$

SiH₂Cl₂_NH₃_ratio ()
interpolation range: 1.0 to 6.0
extrapolation range: 0.5 to 8.0
default: 4.000000

temperature (degrees Celsius)
interpolation range: 750.0 to 850.0
extrapolation range: 650.0 to 950.0
default: 800.0

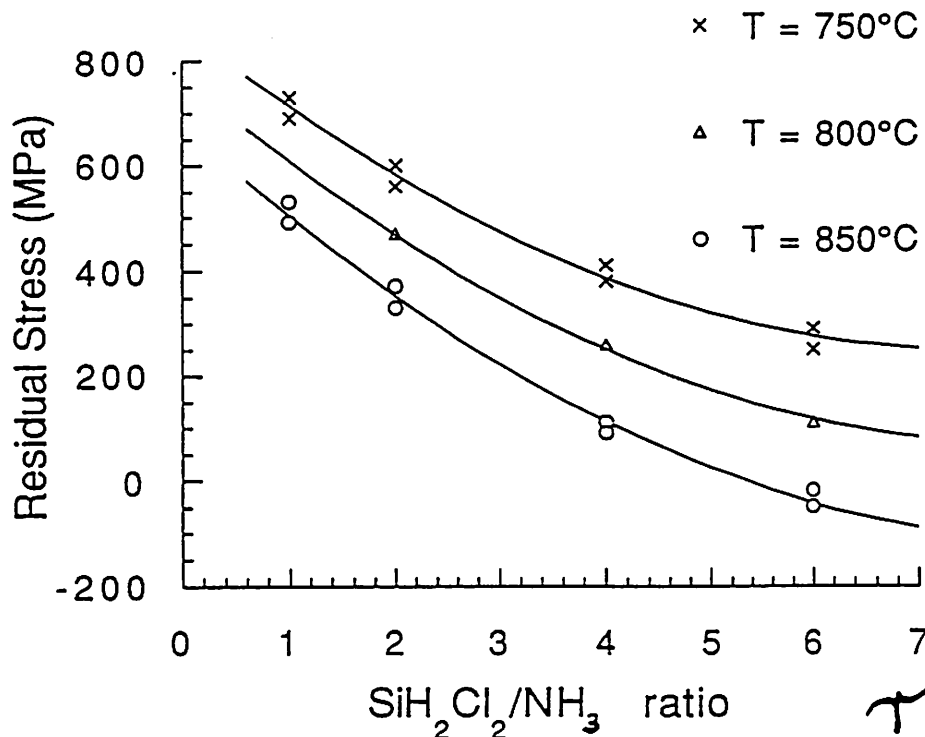
Referenzen:

M. Sekimoto, H. Yoshihara, and T. Ohkubo
"Silicon nitride single-layer X-ray mask"
J. Vac. Sci. Tech., vol. 21, p. 1017, 1982

Please enter the SiH₂Cl₂_NH₃_ratio (type return if unknown): 5
Please enter the temperature (type return if unknown): 750

The calculated residual stress is 317.3 MPa.

$\sigma(r, T)$



Simulation des anisotropen Ätzens:

Problemstellung:

Eineindeutige Zuordnung zwischen Maske (2D) und mikromechanischer Struktur (3D)

Ziel:

Simulation der Richtungsabhängigkeit beim naßchemischen Ätzvorgang

Modellansätze:

- geometriebasierte Modelle
- 'atomic-level' Simulation

(\Rightarrow z.Zt. alle im Forschungsstadium, noch nicht marktreif)

Modellansätze basieren auf empirischen Datensammlungen, die spezifisch sind für die:

- Kristallorientierung (z.B. Si $\langle 100 \rangle$)
- verschiedene Ätzlösungen (KOH, EDP, ...)
- Maskenorientierung auf dem Wafer
- Temperaturabhängigkeit der Ätzraten

Simulationsmodell SIMODE

Modellansatz:

geometriebasiertes Simulationsmodell (\Rightarrow pixelorientiert)

Ätzmittelcharakterisierung:

50 % KOH

Tiefenätzrate

0,7 $\mu\text{m}/\text{min}$

Tiefenätzrate / max. Unterätzung

0,79

Böschung mit max. Unterätzung

$(hkl)_{\text{max}} = (311)$

Simulationsablauf:

- 1.) Unterätzung: Durchlauf der äußeren Maskenkontur
- 2.) Durchlaufen weiterer Maskenkonturen
- 3.) nach Durchlaufen aller Konturen werden
Ätzzeit und Ätztiefe inkrementiert
- 4.) Ätzprofilberechnung (zweidimensional)

Möglichkeiten:

beliebige Wahl des Ätzmittels

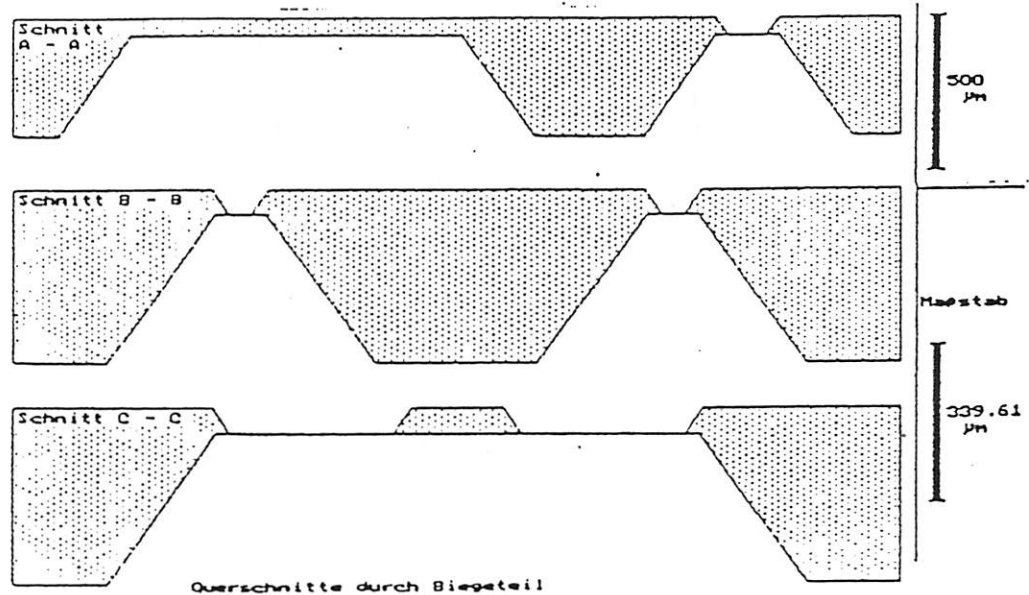
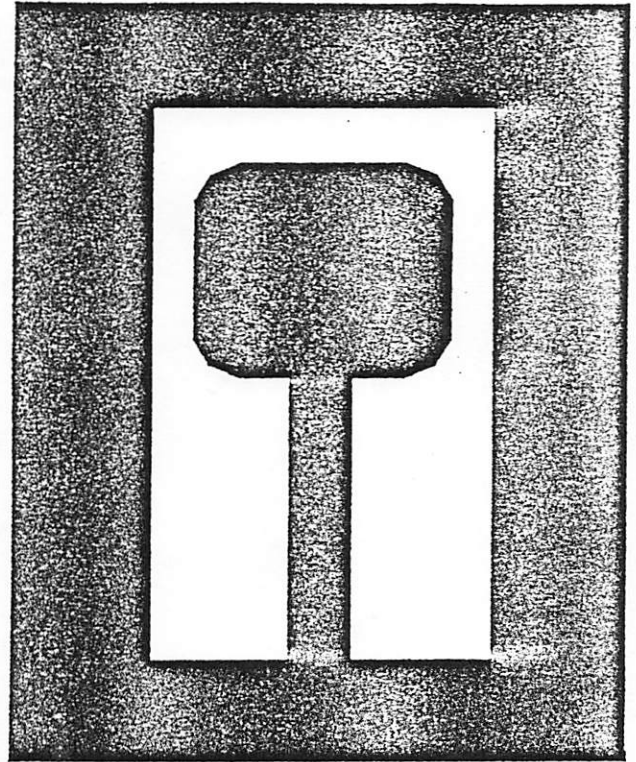
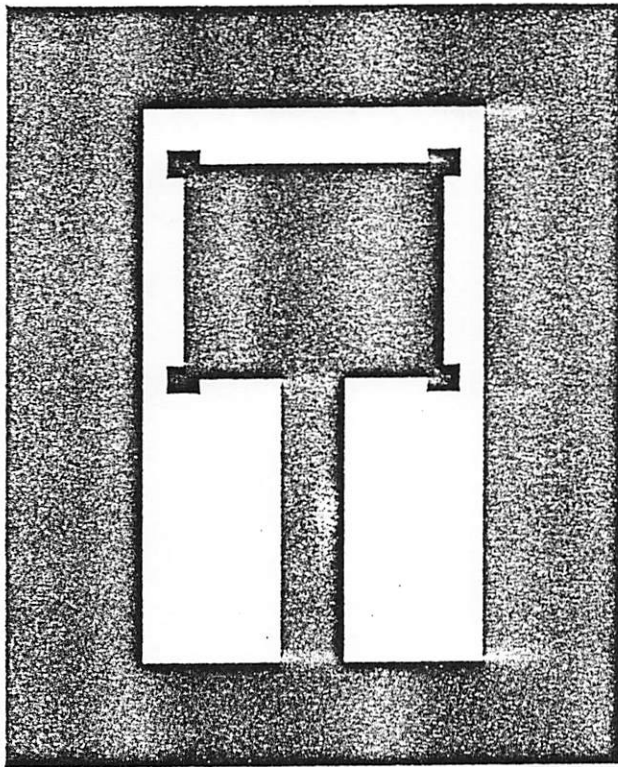
beliebige Maskenorientierungen

Vorder- und Rückseitenätzung möglich

Einschränkungen: Kristallorientierung nur Si $\langle 100 \rangle$

Programm: SIMODE

(J. Frühauf, MME '90, Berlin)



Bauteilmodellierung in der Mikromechanik

Lösungsverfahren:

- analytische Methoden
⇒ SENSIM, CAPSS, ...
- Symbolische Manipulation
⇒ MACSYMA, REDUCE, MATHEMATICA, ...
- Numerische Berechnungsmethoden
⇒ Finite-Elemente Methode (FEM)

Sensor- bzw. Mikrosystementwurfswerkzeuge

(⇒ Kombination von analytischen und numerischen Lösungsverfahren)

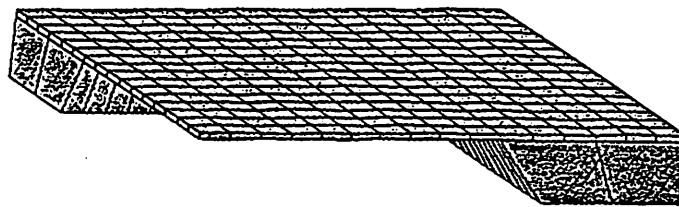
- CAEMEMS (Crary, Zhang, Transducers '91)
- SENSOR (T-Programm, FhG-IFT)

Finite-Elemente Methode

Grundgedanke:

"... mechanisch verformbare Körper in möglichst einfache Grundbausteine zu zerlegen (Finite-Elemente Diskretisierung), für die sich näherungsweise Beziehungen zwischen Kräften und Verformungen aufstellen lassen."

Elementlösung \Rightarrow Lösung für Gesamtstruktur
(Gleichgewichts- und Kontinuitätsbedingungen)



Physikalisches Problem \Rightarrow Idealisierung
(Geometrie, Material, Belastung, Randbedingung)

FE-Lösung \Rightarrow Wahl der Elemente und Lösungsverfahren

Finite-Elemente Methode

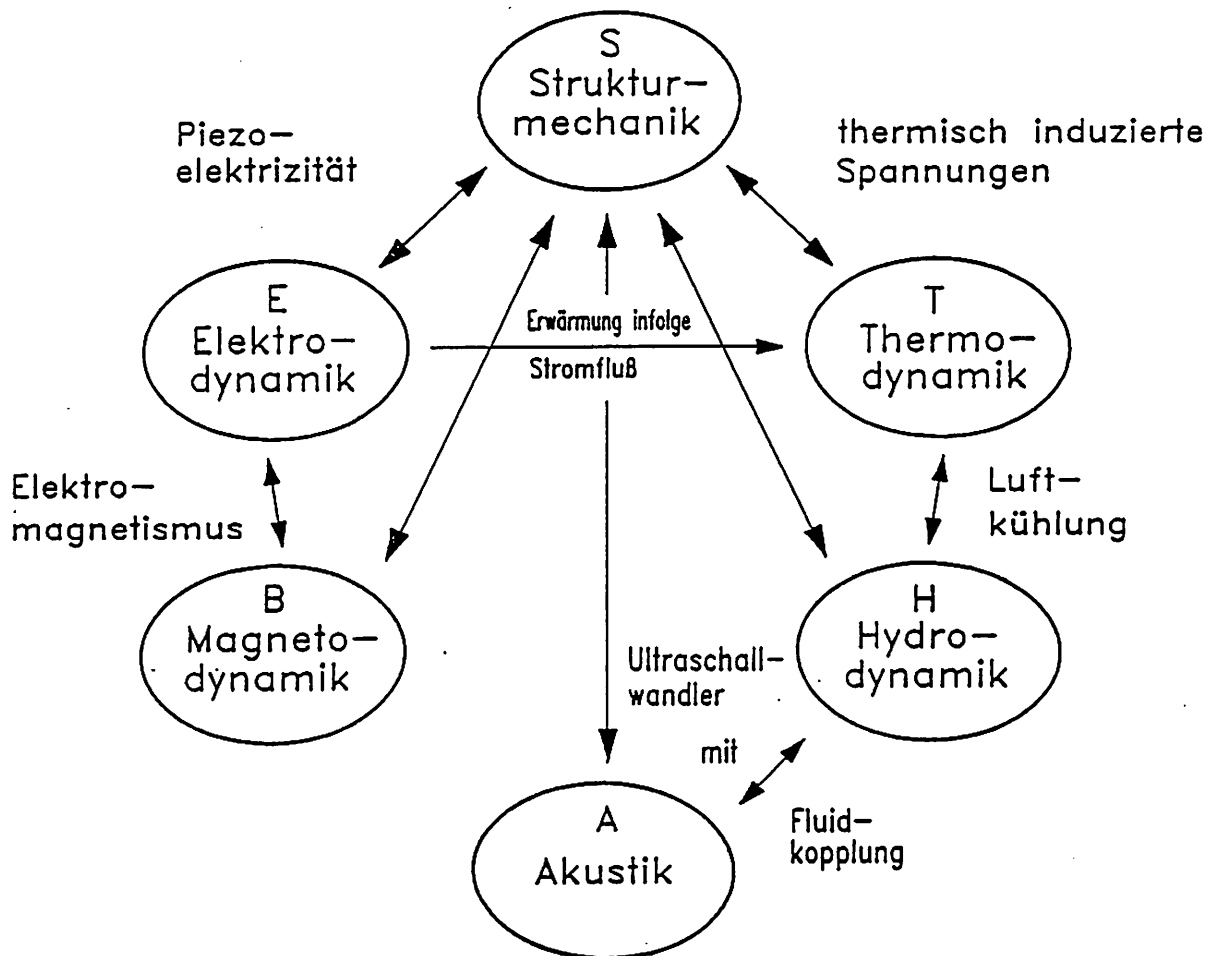
FEM: Standard Simulationsverfahren für die mikro-mechanische Bauteilsimulation

- FE-Konzept mathematisch abgesichert
- Finite-Elemente, Lösungsalgorithmen verifiziert
- Finite-Elemente Methode flexibel anwendbar
- hohe Marktverfügbarkeit (kommerzielle Programme)
- gutes Preis-/Leistungsverhältnis

Mikromechanische Anforderungen an FEM:

- iso-/ortho-/anisotrope Materialeigenschaften
- temperaturabhängige Materialdaten
- ungünstige Aspektverhältnisse
- Berücksichtigung nichtlinearer Effekte
- Kopplung verschiedener physikalischer Effekte

Gekoppelte Feldberechnungen



| | S | T | E | B | H | A |
|---|---|------|---|---|---|---|
| S | | X | X | X | X | X |
| T | | | X | | X | |
| E | | | | X | | |
| B | | | | | | |
| H | | Sym. | | | | |
| A | | | | | | |

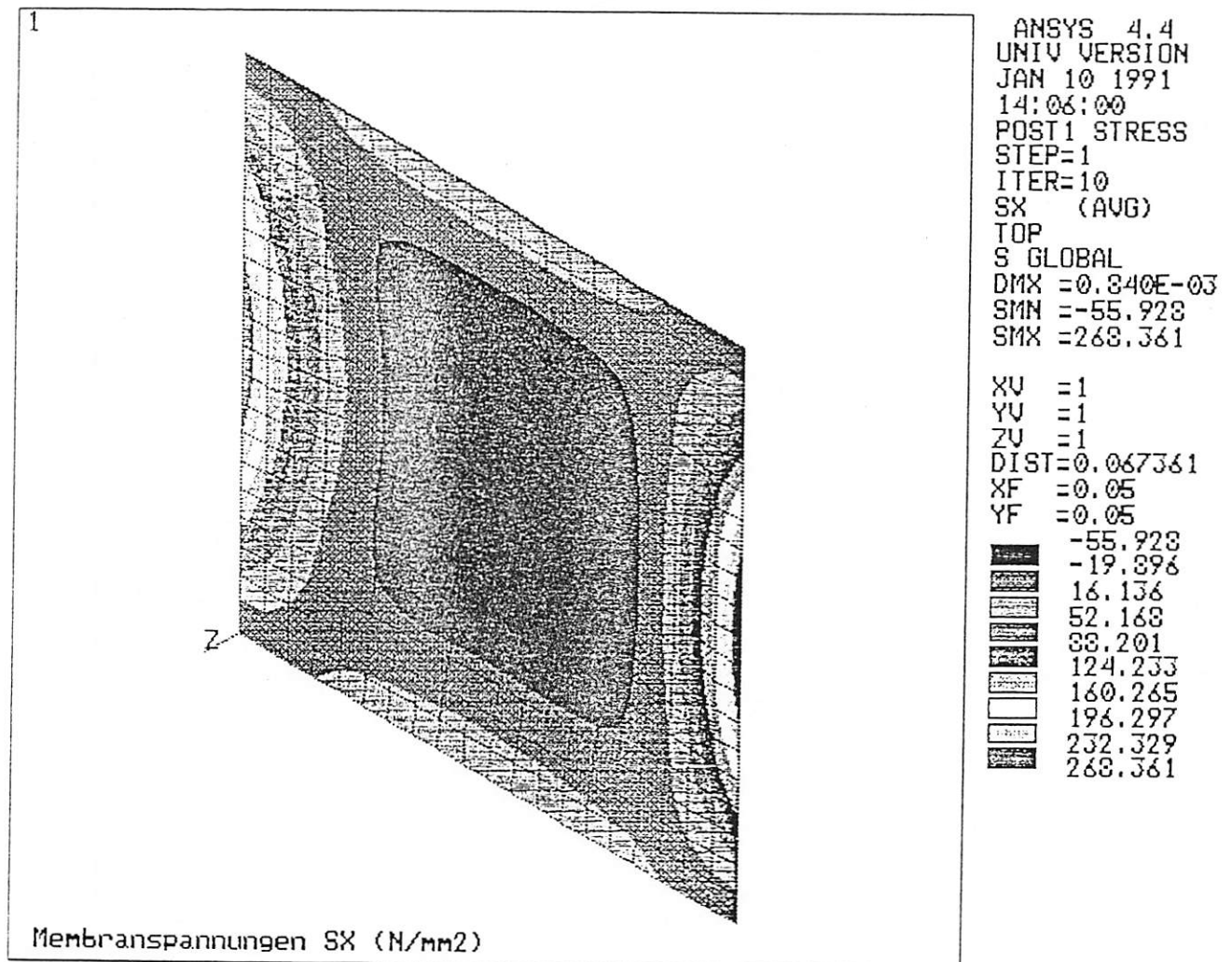
Berechnung des Spannungsverlaufes auf der Oberfläche einer Siliziummembran:

Aufgabe:

Positionierung der piezoresistiven Widerstände im Bereich der Spannungsmaxima und -minima

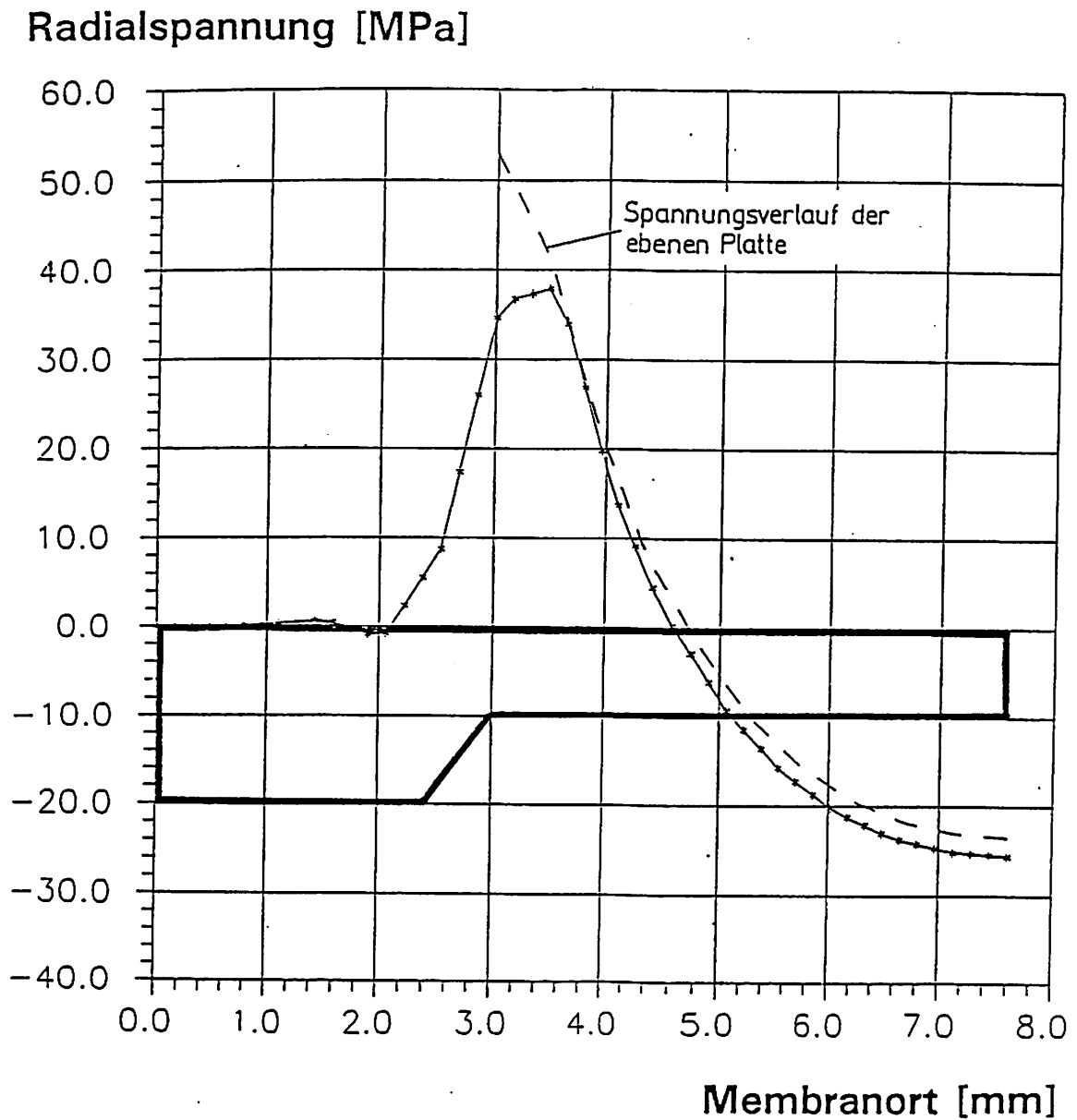
Problem:

Spannungsverlauf ist abhängig von Membrangeometrie, Materialdaten, Membraneinspannung, Druck.

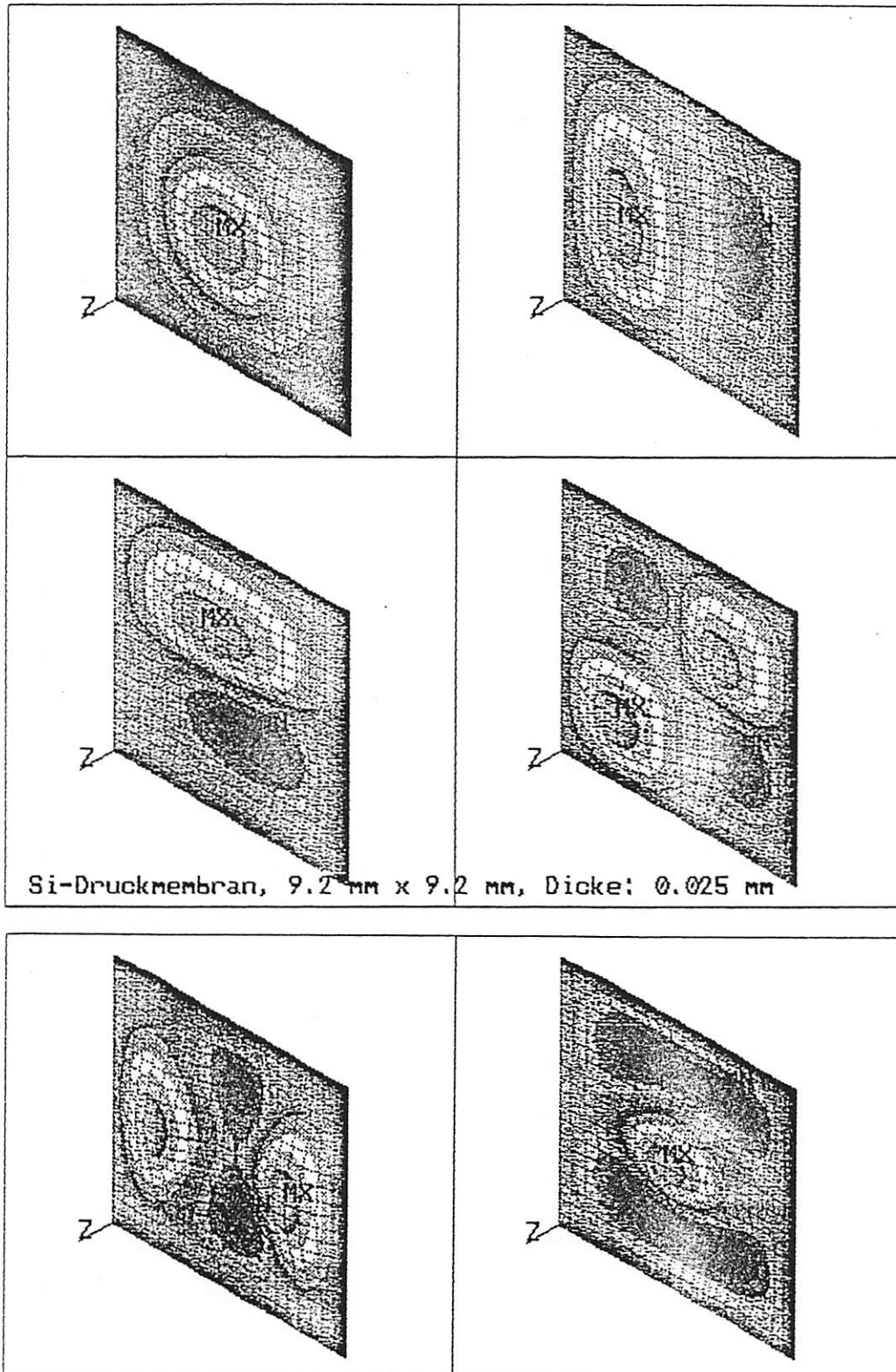


Dreidimensionale Spannungsberechnung

Berücksichtigung der schrägen Membraneinspannung bei piezoresistiven Drucksensoren in Si <100>-Technologie



Eigenschwingungen einer Membran



ANSYS 4.4A
OCT 24 1991
13:25:18
PLOT NO. 2
POST1 STRESS
STEP=1
ITER=1
FREQ=4174
UZ
D GLOBAL
DMX =35160
SMX =35160

Thermischer Einfluß auf Multilayersysteme

Problemstellung:

verschiedene Materialien (Si, SiO₂, Si₃N₄, Pyrex ...)

unterschiedliche Materialeigenschaften

(\Rightarrow temp.abh. E-Moduln, Wärmeausdehn.koeff.)

Randbedingungen

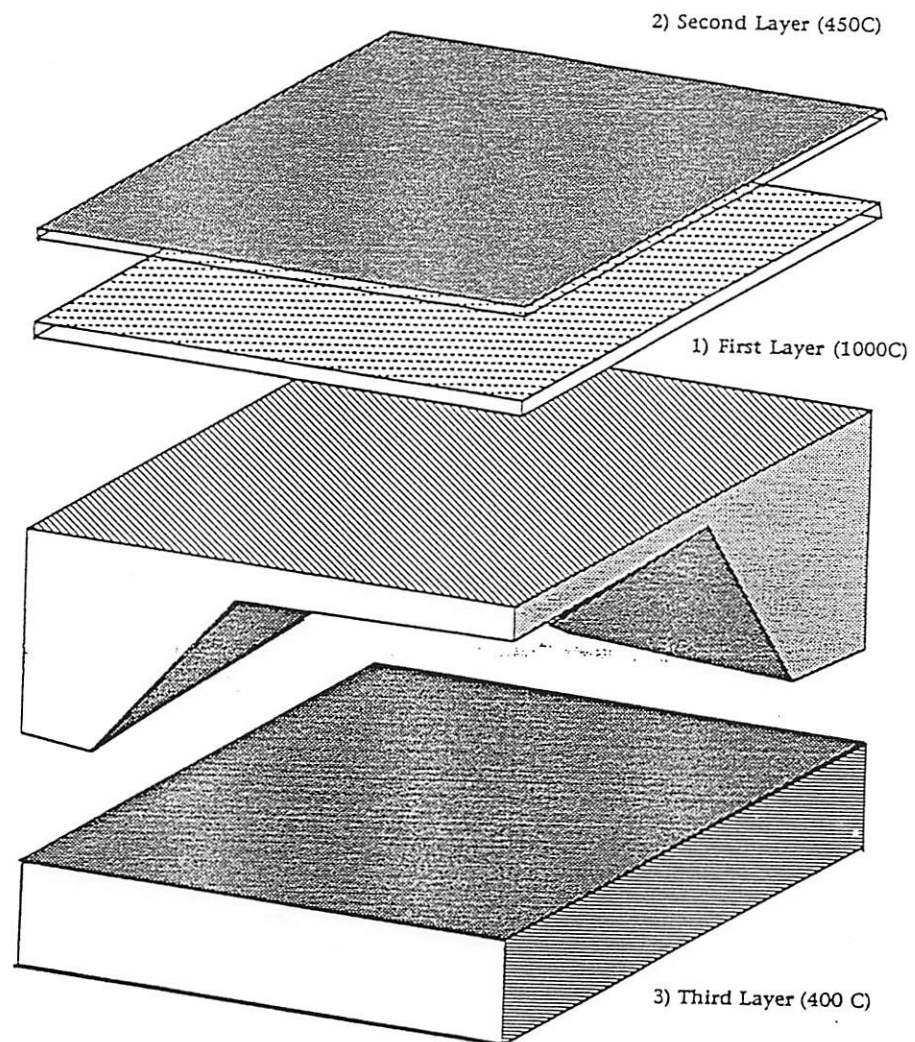
(Einspannung, Strukturierung, Wärmequellen, -senken)

Vorgehensweise:

Durchfahren der unterschiedlichen Temperaturzyklen
entsprechend den Prozeßschritten $\Rightarrow T(x,t)$

Ziel: Berechnung der thermisch induzierten Spannungen und der Auslenkung des Multilayer-Gesamtsystems

(F. Pourahmadi, Transducers'91)



Zusammenfassung

Prozeßsimulation (⇒ im Forschungsstadium)

nur wenige Programme für spezielle mikromechanische Prozeßanwendungen - keine Marktreife

Bauteilsimulation (⇒ FE-Methode etabliert)

Studium des Bauteilverhaltens (Parametervariation)

Auslegung und Optimierung von Komponenten

Berücksichtigung prozeßtechnischer Einflüsse

Simulation verschiedener physikalischer Einflußgrößen

⇒ Verwendung und Kopplung vorhandener SW-Werkzeuge

Ausblick:

Entwicklung von Simulationsverfahren und -modellen

Realisierung von Teststrukturen für die Mikromechanik

Bestimmung von Dünnschicht-Materialdaten

Verifikation der Simulationsergebnisse

⇒ Entwicklung integrierter Entwurfsumgebungen

Hahn-Schickard-Institut für Mikro- und Informationstechnik

Microsystems, Berlin (1990)

[Dan91] : J.S.Danel, G.Delapierre

Anisotropic crystal etching: a simulation program

EUROSENSORS VI, Rome (1991)

Hahn-Schickard-Institut für Mikro- und Informationstechnik

Joh91] : B.P.Johnson, S.Kim, J.K.White, S.D.Senturia
MEMCAD capacitance calculations for mechanically deformed square
diaphragm and beam microstructures
TRANSDUCERS'91, San Francisco (1991)

Lee82] : K.W.Lee, K.D.Wise
SENSIM: A simulation program for solid-state pressure sensors
IEEE Trans. on Electron Devices, ED-29 (1982)

n

Mar90] : Marhöfer
Design tools for the development of MEMS
Micro System Technologies, Berlin (1990)

San90] : H.Sandmaier
Simulationswerkzeuge zum Design systemfähiger Mikrosensoren
Micro System Technologies, Berlin (1990)
(SENSOR)

n

n