

VERBUNDVORHABEN      "EINSATZ DER MIKROMECHANIK  
ZUR HERSTELLUNG  
FREQUENZANALOGER SENSOREN"

STATUSBERICHT JANUAR 1991 / GEBR. STAIGER GmbH,  
ST. GEORGEN

INHALT:

1. Zielsetzung
2. Zusammenfassung der Ergebnisse bis Juli 1990.
3. Arbeiten von Juli 1990 bis Jan 1991.
4. Weiteres Vorgehen.

1. ZIELSETZUNG

Das Ziel des Verbundvorhabens für Gebr. Staiger GmbH ist die Erarbeitung eines Teils der mikromechanischen Grundlagentechnologien, wobei hauptsächlich die Technologien in Betracht gezogen werden, die zur Herstellung von frequenzanalogen Sensoren dienen können. Eine Zusammenstellung der benötigten grundlegenden Techniken/Schichten zeigt die Tabelle in Bild 1. (Ohne Anspruch auf Vollständigkeit). Die in der ersten Zeile der Tabelle genannten Techniken bzw. Prinzipien sind im Grunde eine begriffliche Zusammenfassung verschiedener physikalischer bzw. technischer Methoden die in der Mikromechanik häufig Verwendung finden. Im unteren Teil der Tabelle sind einige der Methoden aufgelistet.

Die von uns bearbeiteten bzw. angestrebten Methoden sind:

#### Methoden bei Staiger

- ISOLIERSCHICHTEN	:	PECVD
- ÄTZTECHNIK	:	naßchemisch (evtl. Plasma)
- ÄTZSTOPPRINZIPIEN	:	Zeitätzung, Anisotropie des Materials.
- JUSTAGEPRINZIP	:	mechanisch (Anschlag)
- WANDLERSCHICHTEN- PRINZIPIEN	:	elektrostatisch, elektro- magnetisch, thermisch
- SENSITIVE SCHICHTEN	:	Nickel, Polymere
- AVT	:	anodisches Bonden u.a.

Da Technologien i.A. noch nicht zu neuen Produkten führen, und um dem Anspruch des Verbundvorhabens, nämlich der Herstellung frequenzanaloger Sensoren, gerecht zu werden, wird versucht die Grundlagentechnologien der Mikromechanik zum Teil an Produktbeispielen zu entwickeln. Im unteren Teil von Bild 1 ist diese Vorgehensweise schematisch dargestellt.

## 2. Zusammenfassung der Arbeiten bis Juli 1990.

Als erstes Produktbeispiel, an dem mikromechanische Techniken erarbeitet werden konnten, wurden "thermische" Sensoren bestehend aus einer dünnen Siliziumnitridmembran oder Siliziumnitridbrücke mit integriertem Nickelwiderstand gewählt.

Zunächst wurden im Plasma-CVD-verfahren Siliziumnitridschichten erzeugt und deren Eignung als Ätzmaskierung bei der anisotropen Siliziumätzung in KOH untersucht.

Sowohl Silizium als auch Siliziumnitrid wurden naßchemisch geätzt.

Zunächst war es auch gelungen die Eignung der Siliziumnitridschichten als freitragende Brücke und Membran zu zeigen. Die Justage mit Hilfe eines mechanischen Adapters wurde ebenfalls an diesem Beispiel getestet.

Leider war die Reproduzierbarkeit der Siliziumnitridschichten hinsichtlich Membran- und Brückenherstellung nicht gewährleistet. Dies äußerte sich im Brechen der Membranen und Brücken.

### 3. Arbeiten von Juli 1990 bis Januar 1991.

#### 3.0 Einleitung

Um die Ursachen für die fehlende Reproduzierbarkeit bei Erzeugung dünner Membranen und Brücken zu finden, mußten die PECVD-Siliziumnitridschichten genauer qualifiziert werden. Als Qualitätskriterium wurde die innere Schichtspannung gewählt, da diese für die erfolgreiche Herstellung von freitragenden Strukturen entscheidend ist. Die Arbeiten des letzten Halbjahres umfassten fast ausschließlich die Thematik - Messung der inneren Schichtspannung der Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>-Schichten in Abhängigkeit der Abscheideparameter.

#### 3.1 Prinzip

Die Spannung  $\sigma$  in dünnen Schichten setzt sich additiv aus zwei Anteilen  $\sigma_i$  und  $\sigma_T$  zusammen.

$$\sigma = \sigma_i + \sigma_T$$

$\sigma_T$  bezeichnet die thermischen Spannungen, die entstehen, wenn die Ausdehnungskoeffizienten von Schicht und Substrat unterschiedlich sind.

Es gilt:

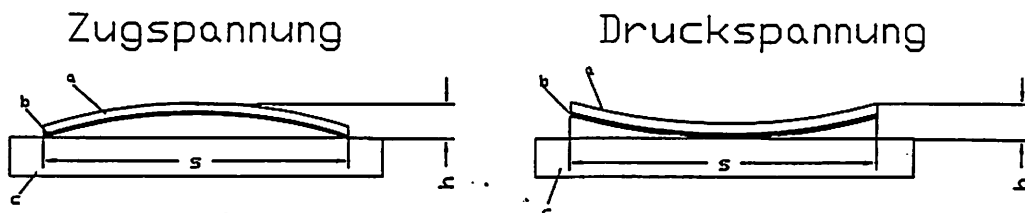
$$\sigma_T = E_S (\alpha_S - \alpha_L) * (T_B - T_M)$$

$E_S$ : E-modul der Schicht

$\alpha_{S,L}$ : Ausdehnungskoeffizienten Schicht, Substrat

$T_{B,M}$ : Beschichtungs- Messtemperatur.

Die Messung der Schichtspannung geschieht durch Messung der Durchbiegung von Glassubstraten vor- und nach der Beschichtung. Das untere Bild zeigt die Biegung für Druck- und Zugspannung.



- a) Substrat
- b) Schicht
- c) Referenzplatte

Die Spannung  $\sigma$  berechnet sich mit:

$$\sigma = \frac{E_s d_s}{6(1-u) d_f} \left( \frac{1}{R_v} - \frac{1}{R_n} \right)$$

$E_s$  : E-modul Substrat

$u$  : Poissonzahl Substrat

$d_s$  : Dicke Substrat

$d_f$  : Dicke Schicht

$R_{v,n}$  : Krümmungsradien vor- und nach der Beschichtung

Der Term in Klammern läßt sich durch  $\delta h/s^2$  annähern, sodaß die Messung von  $h$  vor und nach der Beschichtung genügt.  $\delta h = h_v - h_n$

Als Substrat benutzten wir meist Gläser (AF45) mit definiertem Ausdehnungskoeffizienten.

Die Durchbiegung  $\delta h$  wurde mit Hilfe eines Schichtdickenmessgerätes ermittelt.

### 3.2 Ergebnisse

Im Allgemeinen weisen unsere Schichten Druckspannung bis ca.  $5 \cdot 10^9$  Pa auf.

Es wurde jedoch ein starker Gradient der Schichtspannungen in der Anlage festgestellt.

Der Gradient hängt einerseits von den Abscheideparametern wie Druck, Leistung usw. ab, sowie von mechanischen und elektrischen Änderungen in der Anlage, wie Plattenabstand und Massenankopplung. D.h. die Verteilung "wandert" z.T. undefiniert.

Neben den Abscheide- und Anlagenparametern wurde auch das Temperverhalten der Siliziumnitridschichten untersucht. Bild 2 zeigt das Ergebnis.

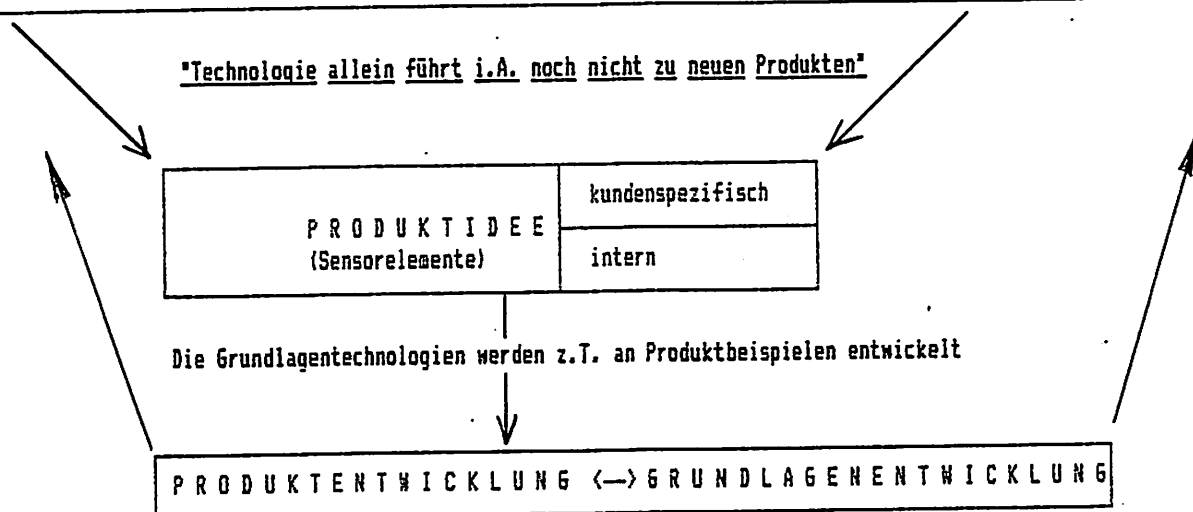
Merkliche Änderungen gibt es erst ab Temperaturen von  $> 250^\circ\text{C}$ . Die Temperung bewirkt eine Zunahme in Richtung höhere Zugspannung. Dieses Verhalten läßt sich evtl., falls wir den Gradienten in der Anlage je beseitigen können, zur Einstellung von spannungsneutralen Schichten einsetzen. Der Zeitverlauf der Spannungsänderungen muß jedoch noch untersucht werden.

#### 4. Weiteres Vorgehen

- 4.1 Weiterführung der Technologie-Entwicklung für  $\text{Si}_3\text{N}_4$  als Trägerschicht.
- 4.1.1 Installierung eines neuen Plasmareaktor für 13,56 MHz
- 4.1.2 Generierung von  $\text{Si}_3\text{N}_4$  -Schichten mit 13,56 MHz. Untersuchung auf Schichtspannung.
- 4.1.3 Plasmaätzen der Siliziumnitridschichten.
- 4.2 Herstellung mikromechanischer Strukturen in Silizium.
- 4.3 Anodisches Bonden.

BMFT-PROJEKT (KZ.:13 AS 0116):EINSATZ DER MIKROMECHANIK ZUR HERSTELLUNG FREQUENZANALOGER SENSOREN.

GRUNDLAGENTECHNOLOGIEN																	
ISOLIERSCHICHTEN		ÄTZTECHNIK		ÄTZSTOPPRINZIPIEN			JUSTAGE		WANDLERSCHICHTEN-PRINZIPIEN!			SENSITIVE SCHICHTEN			AVT	FEM	MESSTECHNIK u.a.
(Maskier-Membran-schichten)		(Si, Quarz, u.a.)					(ein-beid-seitig)		(frequenzanalog)								
PECVD	LPCVD	naß-chem	Plasma-RIE	Zeit-ätz	An-isotrop	el. chem.	mech.	opt	el. stat	thera		Ni	Polymer	usw.	kleben	Ansys	
Oxidation							Laserloch							verglase			
Diffusion							Ätzloch		magne-tisch	piezoel. (ZnO)					anod. Bond		



Produkte:	SENSOREN/ ACTUATOREN					
Beispiele:	Strömung	Strahlung	Kraft	Druck	Beschleunigung	Mikroventile

Bild I

### Temperverhalten von Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> Schichten

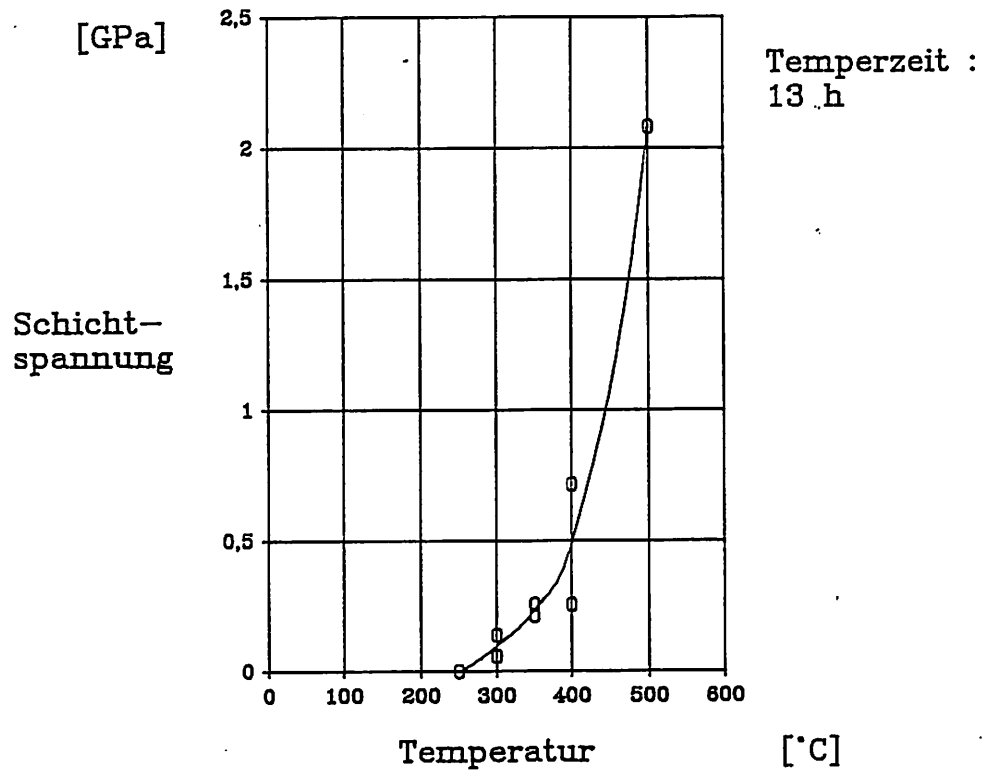


Bild II