

ZWISCHENBERICHT

zum Verbundprojekt

"EINSATZ DER MIKROMECHANIK ZUR HERSTELLUNG
FREQUENZANALOGER SENSOREN"

TEILPROJEKT

"Design und Herstellung thermisch angeregter
frequenzanaloger Kraftsensoren"

Berichtszeitraum : 01.01.92 - 30.06.92

GMS

GESELLSCHAFT
FÜR MIKROTECHNIK
UND SENSORIK

Postfach 1264
7742 St.Georgen

PROJEKTLEITER: Dr. H. Bartuch

GLIEDERUNG

1. Musterbereitstellung
2. Untersuchungen am Metallschichtsystem
3. Zusammenfassung der Ergebnisse und Ausblick auf weitere Arbeiten

1. Musterbereitstellung

Das Flußdiagramm (Übersicht 1) zeigt in knapper Form die technologischen Hauptschritte dreier Untersuchungskomplexe, die im Zusammenhang mit der Erarbeitung einer Labortechnologie zur reproduzierbaren Bereitstellung von Sensorstrukturen von Bedeutung waren.

Im ersten Komplex wurden zur Vermeidung bis dahin bestehender Lackhaftungsprobleme eine NiCr-Metallisierung vor der SiO₂-Strukturierung in den technologischen Ablauf eingefügt. Im Prinzip hat sich diese Maßnahme erwartungsgemäß bewährt. Auf Grund von Acetonverunreinigungen, die sich beim Lacklösen auf der NiCr-Oberfläche verteilten und Ausgangspunkte für unkontrolliertes "Nachätzen" der Metallisierungsschicht darstellten, ergab sich jedoch in derselben eine zu große pin-hole-Dichte, die auf die SiO₂-Schicht übertragen wurde, so daß ein sauberes Si-Strukturieren nicht möglich war.

Im zweiten Komplex wurden deshalb in Zusammenarbeit mit den HSI die dort erarbeitete SiO₂-Strukturierungstechnologie genutzt, um sieben beidseitig polierte (100)-Wafer problemlos zu verarbeiten. Für die Vorder- zur Rückseitenpositionierung bewährte sich die bei GMS durchgeführte Laserjustierbohrung (Abb.1). Mit ihrer Hilfe gelang gleichfalls die akkurate Ausrichtung der SiO₂-Ätzmaske bezüglich der Si-Kristallorientierung, so daß bei der anschließenden KOH-Ätzung die Balkenstrukturen sauber herausgearbeitet wurden (Abb.3,4). Genwärtig noch vorhandene technologische Unzulänglichkeiten bei diesem letzten, entscheidenden Ätzschritt führten von Fall zu Fall zur Ablagerung von Partikeln im Submikrometerbereich (Abb. 2), die auch durch nachfolgende Reinigungsschritte nicht beseitigt werden konnten. Durch die geplante Inbetriebnahme einer üblicherweise verwendeten KOH-Ätzapparatur sollte dieses Phänomen beseitigt werden können.

Von den sieben vorstrukturierten Wafern wurden drei, davor zwei mit dem kompletten Metallschichtsystem (Nr.4,5; Nr. 6 ohne), nach Ätzung der Schwingungsbalkenstrukturen und Vereinzeln dem HS für Untersuchungen des Resonanzverhaltens zur Verfügung gestellt. Die Ergebnisse sind ausführlich im betreffenden Teilbericht dargestellt.

Nachfolgend sind in drei Tabellen einige typische elektrische und geometrische Meßwerte, ergänzt durch erste Angaben über ermittelte Resonanzfrequenzen, zusammengefaßt.

Tabelle 1

elektrische Meßdaten

| | |
|---------------------|-------------------|
| - Brückenwiderstand | (445 ± 5) Ohm |
| - Heizwiderstand | (300 ± 5) Ohm |
| - Temperaturkoeff. | (80 ± 10) ppmK-1 |

Tabelle 2

| geometr. Meßdaten | | | | | | | | |
|-------------------|---------|-----|--------|-----|--------|--------|--------|--------|
| μm | Breite | | | | Dicke* | | | |
| | V-Grube | | Balken | | Balken | | | |
| Wafer-Nr. | Soll | Ist | Soll | Ist | Soll | Ist | Balken | Balken |
| 4 | 70 | 90 | 900 | 870 | 50 | 30..35 | | |
| 5 | 70 | 83 | 900 | 887 | 50 | 48..52 | | |
| 6 | 70 | 80 | 900 | 892 | 50 | 56..60 | | |

* durch HSI mit REM bestimmt

Tabelle 3

| Resonanzfrequenz -Wafer 4 / opt. Abtastung mit Laservibrometer in Balkenmitte | | | | |
|--|-----------------------|-----------------------|-----------------|-------------|
| Balken-länge | $f_{theor.}$ (kHz) | $f_{therm.}$ (kHz) | Güte (therm) | Anz. Heizer |
| 3 mm | 39,1 | 18,8 | 570 | 2 |
| 6 mm | 8,3 | 6,2 | 180 | 2 |
| 8 mm | 4,7 | 5,7 6,8 | 250 180 | 2 1 |
| 10 mm | 3,0 | 6,5 | 170 | 1 |

An einer Interpretation der aus Tab. 3 ersichtlichen deutlichen Unterschiede zwischen berechneter und gemessener Resonanzfrequenz sowie ihrer relativ geringen Abhängigkeit von der Balkenlänge wird gegenwärtig im HSI gearbeitet.

Der dritte Komplex galt orientierenden Untersuchungen z. Haftfestigkeit des Metallschichtsystems. Durch ein- bz zweistufiges Temperiern sollte versucht werden, die Schichtspannung zu vermindern. Zur ersten Bewertung wurde eine sichtoptische Inspektion herangezogen. Es ist festzustellen, daß keine grundlegende Verbesserung erzielt werden konnte. Weitere Untersuchungen müssen folgen, da in diesem Problem durchaus eine potentielle Hauptausfallursache zu suchen ist.

Im Ergebnis der durchgeföhrten Arbeiten ist festzuhalten, daß trotz noch bestehender Unzulänglichkeiten eine den technischen Möglichkeiten der Fa. GMS entsprechende Labortechnologie mit gutem Erfolg erprobt wurde. Pro komplett prozessierten Wafer kann mit einer Ausbeute an thermisch anregbaren Si-Balken von 80% bis 90% gerechnet werden.

2. Untersuchungen am Metallschichtsystem

Ausgangspunkt dieser Untersuchungsserie war ein für spezifische Anwendungen ($\text{Einsetztemperatur} > 125^\circ\text{C}$) unbefriedigendes Kontaktalterungsverhalten von gelöteten (LSn60-Lot, $T_s = 180^\circ\text{C}$) Anschlüssen auf dem standardgemäß genutzten Kontaktssystem Ti/Pd/Au. Wurden mit dem gleichen Schichtsystem Ni-Schichten kontaktiert traten diese Effekte, die darüberhinaus noch deutlich von den thermischen Vorbehandlung des Kontaktssystems abhängen /1/ nicht auf, so daß es naheliegend war, zu untersuchen, ob eine Ni-Barrièreschicht im Planarkontakt zu verbesserten Alterungseigenschaften führt. Zu diesem Zweck wurden Teststrukturen mit 3 verschiedenen Kontaktssystemvarianten präpariert (Tabelle 4).

| KONTAKTSYSTEMVARIANTEN | | | |
|------------------------|--------------------------------|------------|-------------|
| Gruppe | Haftschicht/Diffusionsbarriere | Lötschicht | Bondschicht |
| 1 | - | Ni(400) | Au(160) |
| 2 | Ni(50) | Pd(448) | Au(160) |
| 3 | Ni(50)/Ti(60) | Pd(448) | Au(160) |
| Standard | Ti(50) | Pd(448) | Au(160) |

Tabelle 4: Übersicht über Kontaktaufbau
(in Klammern Angaben der Schichtdicke in nm)

Der Widerstand der NiCr-Teststruktur, die eine vollständige Separation zwischen Kontaktwiderstand und NiCr-Widerstand nicht erlaubt, lag mit 60 Ohm jedoch niedrig genug (wie in /1/ nachgewiesen), um im Vergleich mit unkontaktierten NiCr-Alterungskurven die Kontaktstabilität bewerten zu können. Das Eindiffundieren der Kontaktssystems erfolgte unter zwei verschiedenen Temperbedingungen:

$$\begin{array}{lll} * & 280^\circ\text{C} & 2.5\text{h Luft} \\ * & 350^\circ\text{C} & 24\text{h } 200 \text{ mbar N}_2 \end{array}$$

Anschließend wurden jeweils 5 Proben gelötet und Substratzeilen so gebondet, daß durch Reihenschaltung

von 21 Widerstände und damit 42 Kontakte, hintereinandergeschaltet wurden, was zu einem gut auswertbaren Gesamtwiderstand von ca. 1..kOhm führte. Als Test erfolgte anschließend eine Temperung bei 150°C bzw. 200°C an Luft. Letztere Belastung ist allerdings für die gelöteten Varianten als ausgesprochener Stress-Test zu werten, da während des Lagerns das Lot in flüssiger Form vorlag.

Die Meßergebnisse sind in Abb. 5 und 6 graphisch dargestellt. Aus Tabelle 5 sind ergänzend die Meßwerte der gelöteten Varianten ersichtlich.

Tabelle 5

| | 100h/Ofentemperung/Luft 150°C | | | | 24h/Ofentemperung/Luft 205°C | | | |
|-------------------|-------------------------------|------------------|---------------|------------------|------------------------------|-------------------|---------------|------------------|
| | 280°C Luft | | 350°C N2 | | 280°C Luft | | 350°C N2 | |
| | deltaR/Ro (%) | delta Tk (ppm/K) | deltaR/Ro (%) | delta Tk (ppm/K) | deltaR/Ro (%) | delta Tk (ppm/K) | deltaR/Ro (%) | delta Tk (ppm/K) |
| Ni / Au | | | | | | | | |
| | 1 | 0.385962 | -0.06219 | 0.058685 | -0.25425 | Lötstellen gelöst | 0.364931 | -5.00111 |
| | 2 | 0.249871 | -2.3531 | 0.045026 | -0.2964 | Lötstellen gelöst | 0.336513 | -4.50913 |
| | 3 | 0.13535 | -1.1502 | 0.050063 | -0.40063 | Lötstellen gelöst | 0.261646 | -3.24297 |
| | 4 | 0.27403 | -2.36152 | 0.049306 | -0.40552 | Lötstellen gelöst | 1.111491 | -4.6951 |
| | 5 | 0.303722 | 1.141964 | -0.96394 | -0.25026 | Lötstellen gelöst | 0.236401 | -2.5399 |
| Ni / Pd / Au | | | | | | Lötstellen gelöst | | |
| | 1 | 0.235085 | -2.70863 | 0.044248 | -0.8259 | Lötstellen gelöst | 0.959342 | 3.390755 |
| | 2 | 0.268716 | -3.47721 | 0.06506 | -0.4658 | Lötstellen gelöst | 0.070386 | 3.786888 |
| | 3 | 0.250779 | -3.63877 | 0.100285 | -0.46929 | Lötstellen gelöst | 1.140091 | -0.50372 |
| | 4 | 0.255282 | -3.69133 | 0.062866 | -0.36774 | Lötstellen gelöst | 0.458567 | 1.947438 |
| | 5 | 0.245251 | -3.41064 | 0.030266 | -0.73718 | Lötstellen gelöst | 1.013742 | 3.838182 |
| Ni / Ti / Pd / Au | | | | | | Lötstellen gelöst | | |
| | 1 | -0.27835 | 3.147572 | 0.039023 | -0.6923 | Lötstellen gelöst | -1.4719 | -0.5701 |
| | 2 | -0.39986 | 3.828411 | 0.063471 | -0.72219 | Lötstellen gelöst | -1.59023 | -0.64773 |
| | 3 | -0.28615 | 1.463412 | 0.03704 | -0.28739 | Lötstellen gelöst | -1.84087 | -0.80125 |
| | 4 | -0.04079 | 0.616834 | 0.122643 | -1.24389 | Lötstellen gelöst | -1.11708 | -0.43451 |
| | 5 | -0.37508 | 2.37327 | 0.056918 | -0.57803 | Lötstellen gelöst | -0.6426 | -0.55247 |

Zusammenfassend kann festgestellt werden:

(i) Eine zusätzliche Kontaktalterung - ist bis 200°C an nichtbeloteten Proben unabhängig von der Untersuchungsgruppe signifikant nicht feststellbar (praktisch übereinstimmend Alterung von entsprechend vorbehandelten NiCr-Schichten ohne Kontaktssystem und den gebondeten Mustern).

(ii) Erst in Folge des Lötprozesses vergrößert sich, abhängig von den Bedingungen der Kontaktformierung, die Alterung bzw. nimmt die Streuung der Werte zu. Auffällig ist, daß bei ansonsten eher geringen Variantenunterschieden für das titanhaltige Kontaktssystem (280°C an Luft vorgetempert) ein negativer Verlauf, d.h. ein Widerstandsabnahme beobachtet wird. Eine Erklärung für diese Phänomene liegt gegenwärtig noch nicht vor.

(iii) Eine Kontaktformierung bei 350°C/200 mbar N₂ bringt übereinstimmend mit früher gewonnenen Ergebnissen am Ti/Pd/Au System /2/ variantenunabhängig die besten Resultate. Ausdruck hierfür ist auch, daß diese Proben nach der 200°C-Temperung noch meßbar waren.

(iv) Keine der in die Versuchsreihe einbezogenen Kontaktvarianten kann gegenüber dem bisher verwendeten Kontaktssystem als günstiger eingeschätzt werden. Allein entscheidend sind die Bedingungen der Kontaktformierung.

Aus der Sicht dieser Ergebnisse bestätigt sich, daß der Einsatz des Standardkontakteystems Ti/Pd/Au im Bereich von 125°C bis ca.170°C nach entsprechender Vorbehandlung für Lötverbindungen und bis 200°C auch für stabile Bondverbindungen geeignet ist.

3. Zusammenfassung der Ergebnisse und Ausblick auf weitere Arbeiten

- Auf der Grundlage der bei GMS gegebenen technischen Voraussetzungen wurde eine Labortechnologie erprobt, so daß der HSI mit guter Ausbeute thermisch anregbare Si-Balkenstrukturen zu Verfügung gestellt werden konnte.
- Stabilitätsuntersuchungen am modifizierten Standardkontakteystem bringen keine signifikante Verbesserung der thermische Beständigkeit von Löt- und Bondverbindungen. Entscheidend sind die Bedingungen der Kontaktformierung. Wird bei 300°C/200mbarN vorbehandelt sind Lötstellen bis ca.170°C stabil, während Bondverbindungen auch bei 200°C noch keine Alterungseffekt zeigen.

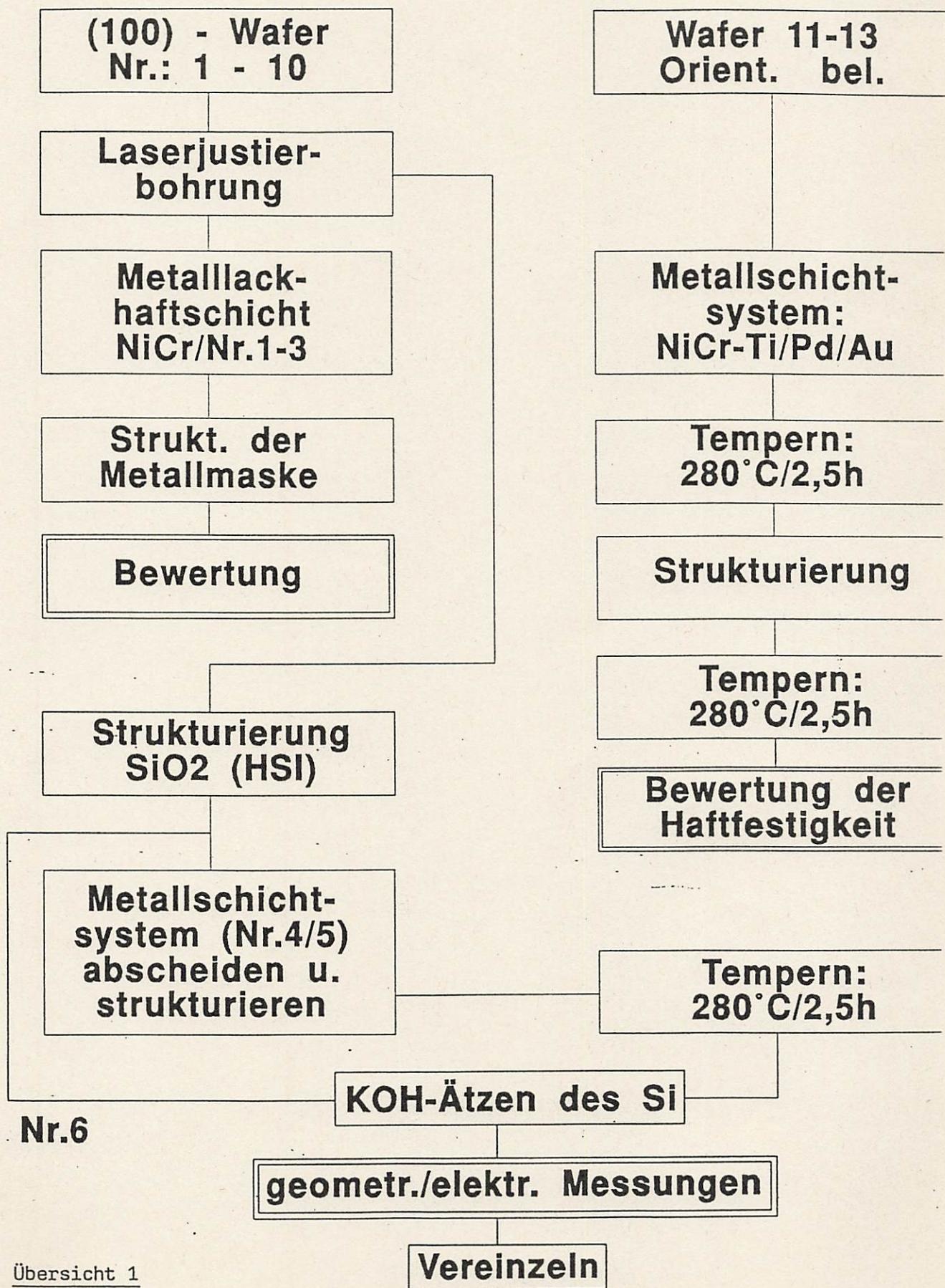
Weitere Arbeiten konzentrieren sich auf

- Balkenstrukturen mit verändertem DMS-Layout, um die Empfindlichkeit der Brücke zu erhöhen.
- Untersuchungen der Frequenzverschiebungen als Folge von Kraft-, Strömung- und Temperatureinfluß - gemeinsam mit den Verbundpartnern vom HSI und der FA. Bizerba.

/1/ Zwischenber. der Fa. GMS zum Verbundprojekt "Einsatz der Mikromechanik zur Herstellung frequenzanaloger Sensoren" Berichtszeitraum 01.09.91 - 31.12.91

Sensorbereitstellung

7



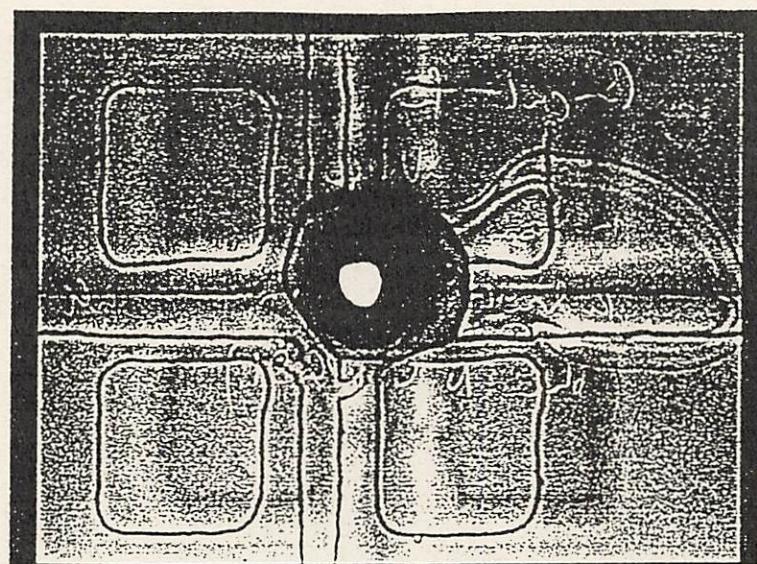


Abb.1: Laserjustierbohrung und Positioniermarken der Vorder- und Rückseite eines Wafers (Aufnahme HSI , IR-Mikroskop)

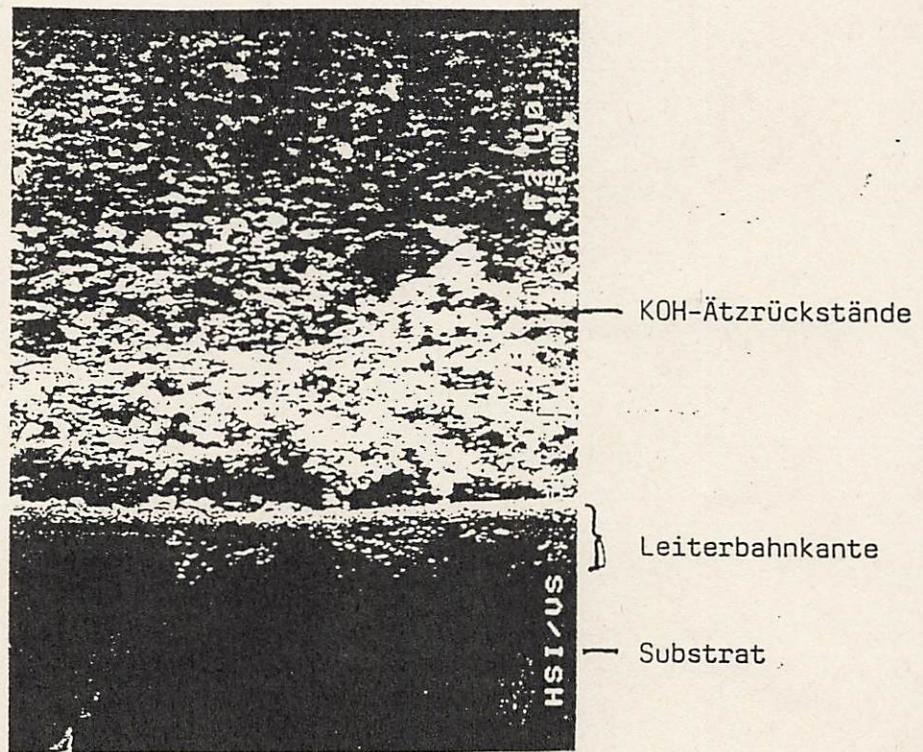


Abb.2: KOH-Ätzrückstände auf Substratoberfläche (REM-Aufnahme HSI)

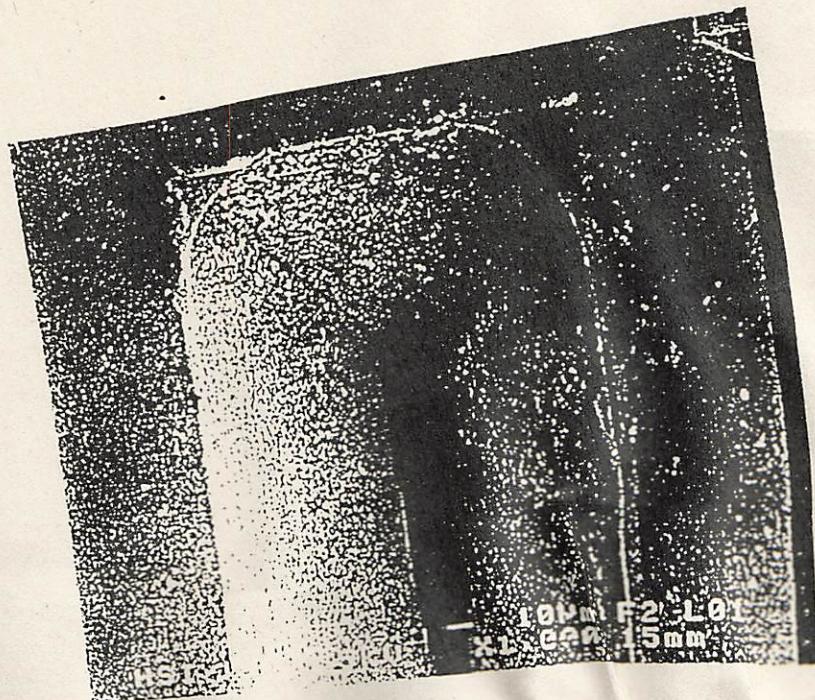


Abb. 3: REM - Aufnahme einer V-Grube
(Strahleinfallsinkel 90 Grad)

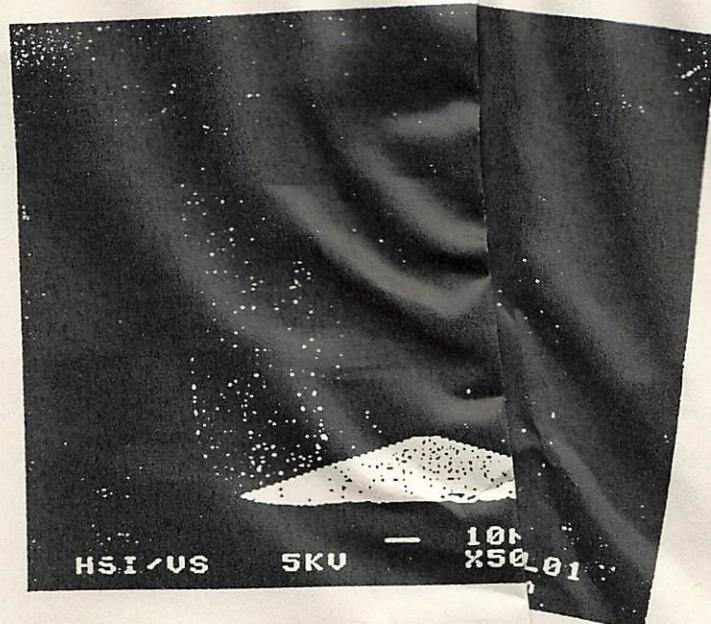
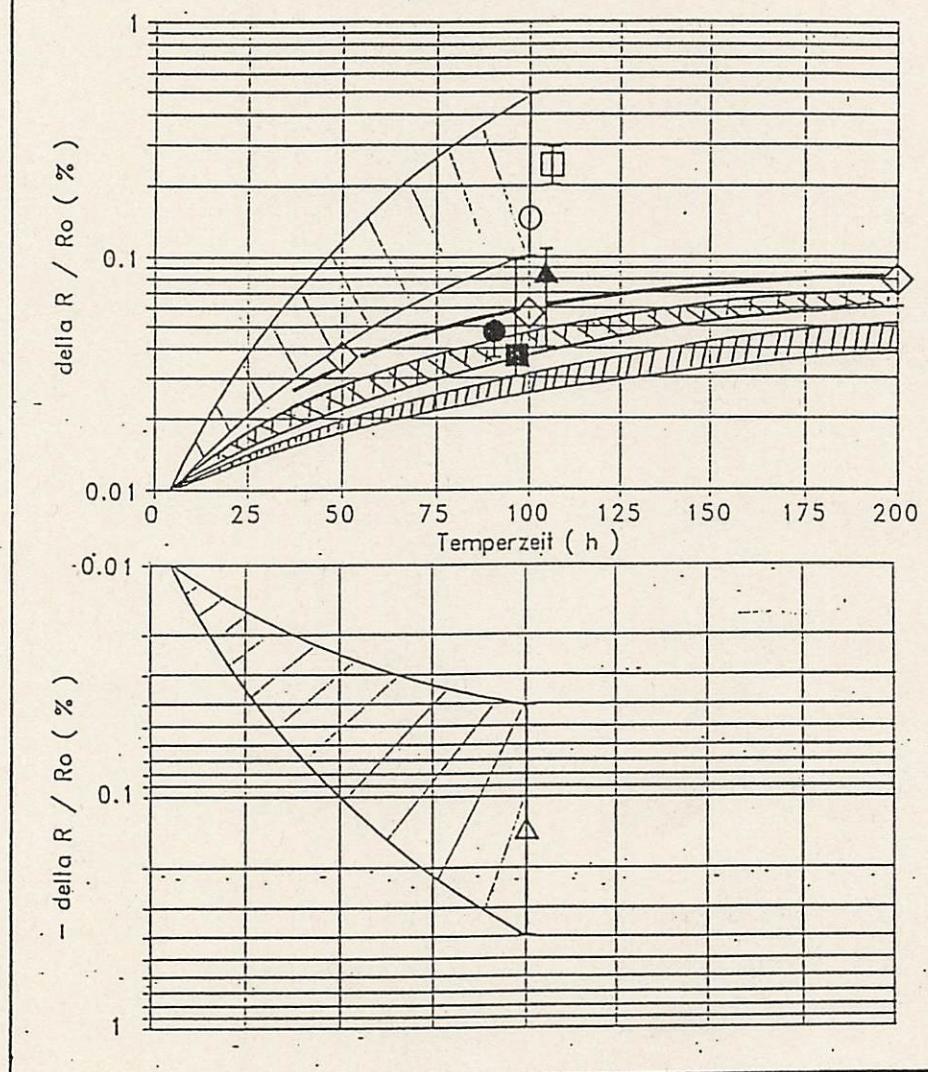


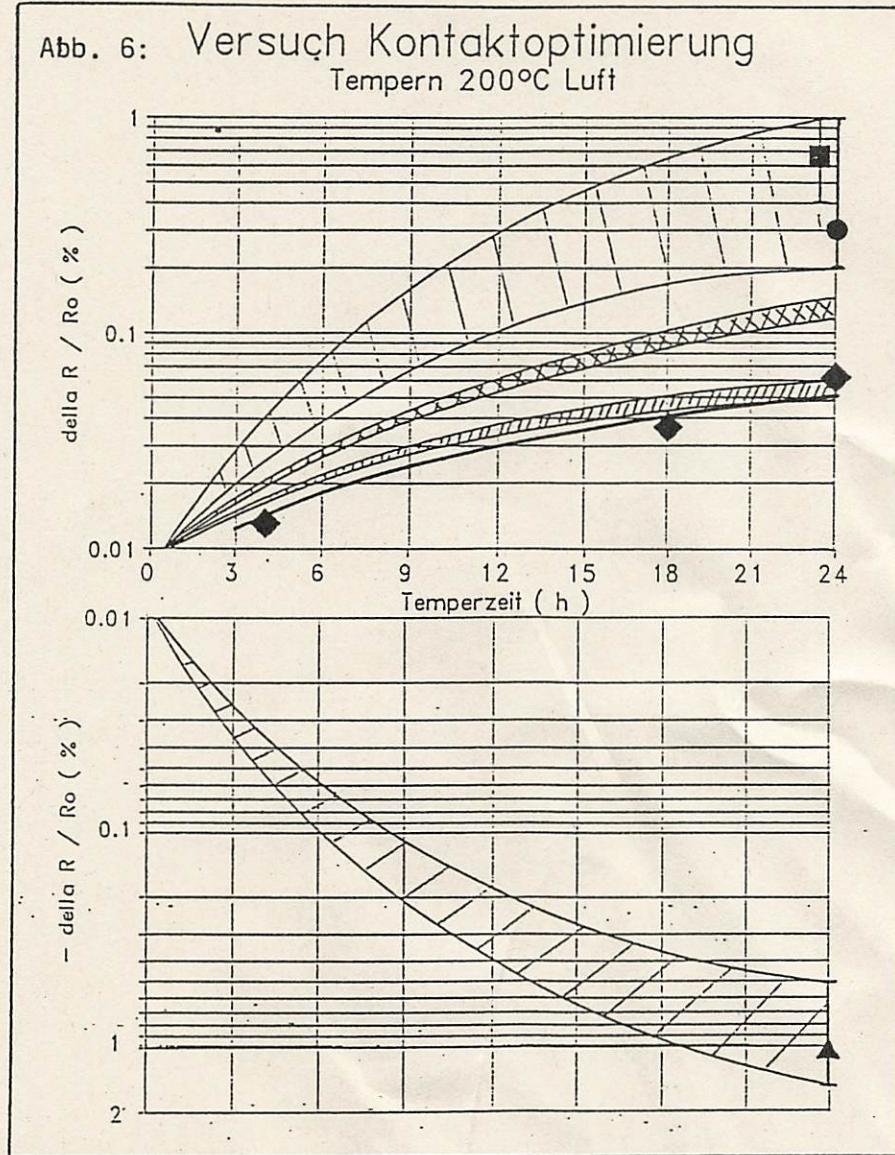
Abb. 4: REM - Aufnahme einer quadratischen Grube (Strahleinfallsinkel 26,8 Grad)

Abb. 5: Versuch Kontaktoptimierung
Tempern 150°C Luft



| Kontaktaufbau | Vorbehandlung | gelötet | gebondet |
|-----------------------|---------------|---------|----------|
| Ni/Au | 280°C | ○ | XXXXX |
| | 350°C | ● | /\//\// |
| Ni/Pd/Au | 280°C | □ | XXXXX |
| | 350°C | ■ | /\//\// |
| Ni/Ti/Pd/Au | 280°C | △ | XXXXX |
| | 350°C | ▲ | /\//\// |
| NiCr-Grundkurve 280°C | | ◇ | |

Abb. 6: Versuch Kontaktoptimierung
Tempern 200°C Luft



| Kontaktaufbau | Vorbehandlung | gelötet | gebondet |
|-----------------------|---------------|---------|----------|
| Ni/Au | 280°C | ○ | XXXX |
| | 350°C | ● | /\//\// |
| Ni/Pd/Au | 280°C | □ | XXXX |
| | 350°C | ■ | /\//\// |
| Ni/Ti/Pd/Au | 280°C | △ | XXXX |
| | 350°C | ▲ | /\//\// |
| NiCr-Grundkurve 350°C | | ◆ | |