

## 1. Problemstellung

Aufgabe des IMSAS war die Entwicklung von in eine Schleifscheibe integrierbaren Temperatur- und Kraftsensoren. Die Integration der Sensoren in die Schleifscheibe ist in Bild 1 zu sehen. Die besondere Schwierigkeit im Vorhaben ist in den spezifischen Bedingungen der Anwendung zu sehen. So müssen die Sensoren starken mechanischen Belastungen standhalten oder im Falle des Temperatursensors aufgrund der geforderten Funktionsfähigkeit über die gesamte Nutzungsdauer der Schleifscheibe verschleißverträglich sein. Neben den Sensoren selbst wirken sich diese Anforderungen auch auf die Aufbau- und Verbindungstechnik aus, welche nicht die üblichen, in der Mikrosystemtechnik benutzten Verfahren verwenden kann.

Aufgrund der beschriebenen Schwierigkeiten existierten zu Beginn des Vorhabens für dieses Gebiet keine kommerziell verfügbaren mikrotechnischen Sensoren. Auch konventionelle Sensorik war zumindest für den Bereich der Temperaturmessung nicht vorhanden. Zur Messung von Kräften waren zwar piezoelektrische Sensoren erhältlich (z.B. von der Fa. Kistler), jedoch waren Abmessungen und Preis nicht für eine Serienanwendung in einer intelligenten Schleifscheibe geeignet. Im Folgenden sollen, getrennt nach den Bereichen Temperatursensorik und Kraftsensorik der Verlauf des Vorhabens sowie die erzielten Ergebnisse dargestellt werden.

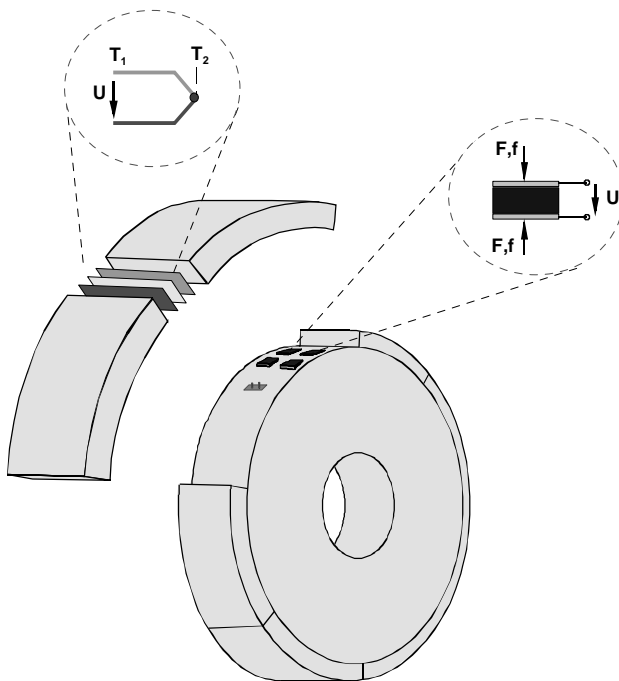


Bild 1: Integration der Sensoren in die Schleifscheibe

## 2. Ergebnisse

### 2.1. Temperatursensorik

Die Temperaturerfassung erfolgt in der Kontaktzone zwischen Schleifbelag und Werkstück. Dies wird mit Hilfe von neuartigen Dünnschichtthermopaaren realisiert, die im Spalt zwischen den Stirnseiten der Schleifbelagsegmente eingebaut werden. Hierbei wird eine Kombination von NiCr (Chromel) und NiAl (Alumel) verwendet, die für das Standardthermopaar vom Typ K Verwendung finden. Die Besonderheit dieser Dünnschichtthermoelemente ist, dass die notwendige Kontaktierung der Thermoelemente über den prozessbedingten Verschleiß erfolgt und somit die Temperaturerfassung in der Kontaktzone ermöglicht. Bild 2 zeigt die Integration der Sensorschichten in die Schleifscheibe, während Bild 3 das Funktionsprinzip illustriert. Das Bild zeigt den Kontaktbereich Schleifscheibe/Werkstück von der Seite. Die Thermoelementschichten weisen im Ausgangszustand keinerlei elektrischen Kontakt untereinander auf, sie sind nur jeweils mit dem Messgerät/Verstärker verbunden. Der für die Funktion des Sensors notwendige Kontakt an der Stelle der beabsichtigten Temperaturmessung wird durch das Überschleifen der Thermoelementschichten über die Isolation hergestellt. Im Schleifprozess wird eine der beiden Thermoelementschichten über die Isolation sowie Teile der zweiten Thermoelementschicht geschliffen. Ein elektrischer Kontakt zwischen den Thermoelementschichten kommt jeweils in einem Teilbereich der in Bezug auf die Scheibenbewegung nachfolgenden Thermoelementschicht zustande. Dieser Kontaktbereich ist die Messstelle für die Temperaturmessung und liegt somit genau in der Kontaktzone zwischen Werkstück und Schleifscheibe. Der elektrische Kontakt wird im Schleifprozess durch den Verschleiß ständig zerstört und um eine kleine Strecke Richtung Scheibenmitte verschoben erneut hergestellt. Hierdurch ist die Funktion des Sensors über die gesamte Lebensdauer des Schleifbelages gewährleistet.

Dieser Kontaktierungs-Mechanismus soll im Folgenden mit „Verschleißkontaktierung“ bezeichnet werden, der entstehende Kontakt mit „Verschleißkontakt“.

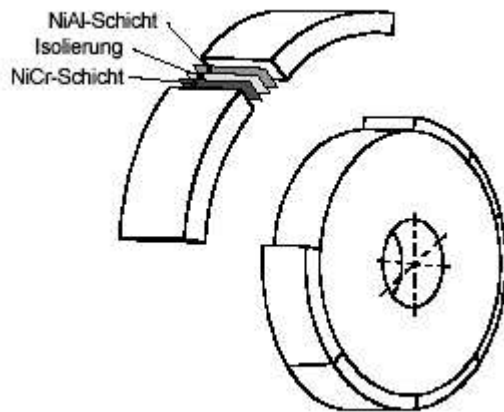


Bild 2: Integration der Temperatursensorschichten in die Schleifscheibe

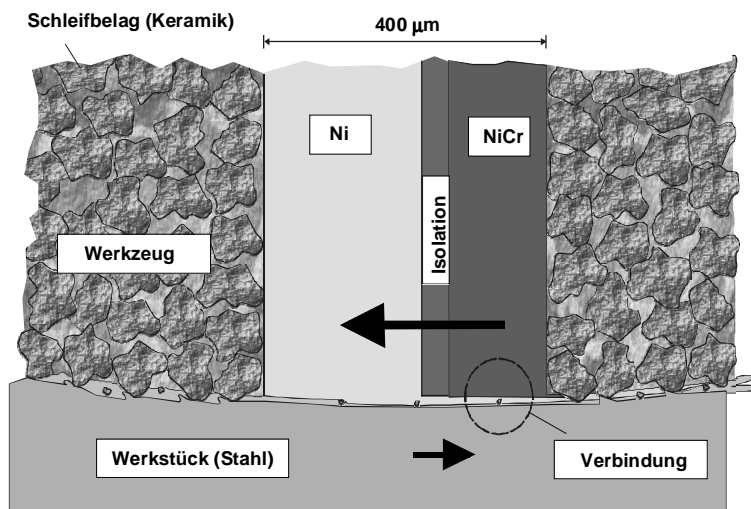


Bild 3: Funktionsprinzip des „Verschleißkontaktes“

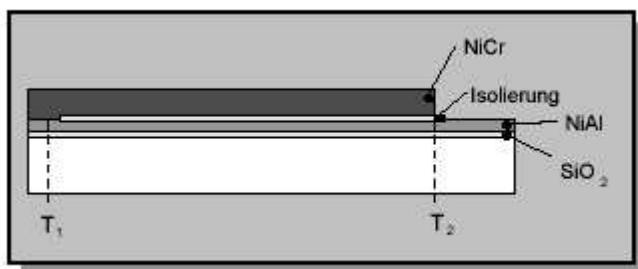


Bild 4: Prinzipieller Aufbau der Temperatursensoren

### 2.1.1 Aufbau und Herstellung

Den prinzipiellen Aufbau der hergestellten Sensoren zeigt Bild 4. Der Sensor besteht aus einem Schichtstapel aus den beiden Thermoelementschichten sowie einer Isolationschicht, hinzu kommt eine Isolation zum Substrat (Trägermaterial, auf dem die Schichtabscheidungen vorgenommen werden). Eine Besonderheit des in Bild 4

dargestellten Sensors ist die schon vorhandene Kontaktierung an der Stelle T1. Diese ist für eine erste statische und dynamische Charakterisierung außerhalb der Schleifscheibe erforderlich. Nach Einbau in die Schleifscheibe wird die Seite mit dem Kontakt (in Bild 4 links) an der Schleifscheibenoberfläche abgetrennt und so der korrekte Ausgangszustand für die Verschleißkontaktierung hergestellt.

Für die Herstellung der Sensoren wurden die Dünnschichttechnologien der Mikrosystemtechnik genutzt.

Hierbei werden alle benötigten Schichten mittels verschiedener Abscheideverfahren zunächst auf einem Trägermaterial (Substrat) abgeschieden. Verwendete Substrate waren Silizium-Wafer von 500  $\mu\text{m}$  Dicke und 10 cm Durchmesser sowie Metallsubstrate (Nickel, Kupfer und Aluminium) mit ähnlichen Abmessungen. Nach den Abscheideschritten erfolgte eine Strukturierung der Schichten. Diese wurde mit spezifischen Ätzlösungen für das Schichtmaterial vorgenommen, wobei die Bereiche, die stehen bleiben sollen, mit einem Photolack abgedeckt wurden. Die gewünschte Struktur der Schicht wurde zuvor mit einem Photolithografie-Verfahren von einer zuvor vorhandenen Maske (Chrom auf Glas) auf den Photolack übertragen. Für die verwendeten Legierungen Chromel und Alumel mussten zunächst geeignete Ätzlösungen gefunden werden, in welcher auch der Photolack stabil ist.

Im folgendem Ablauf ist vereinfacht der erste entwickelte Herstellungsprozess gezeigt.

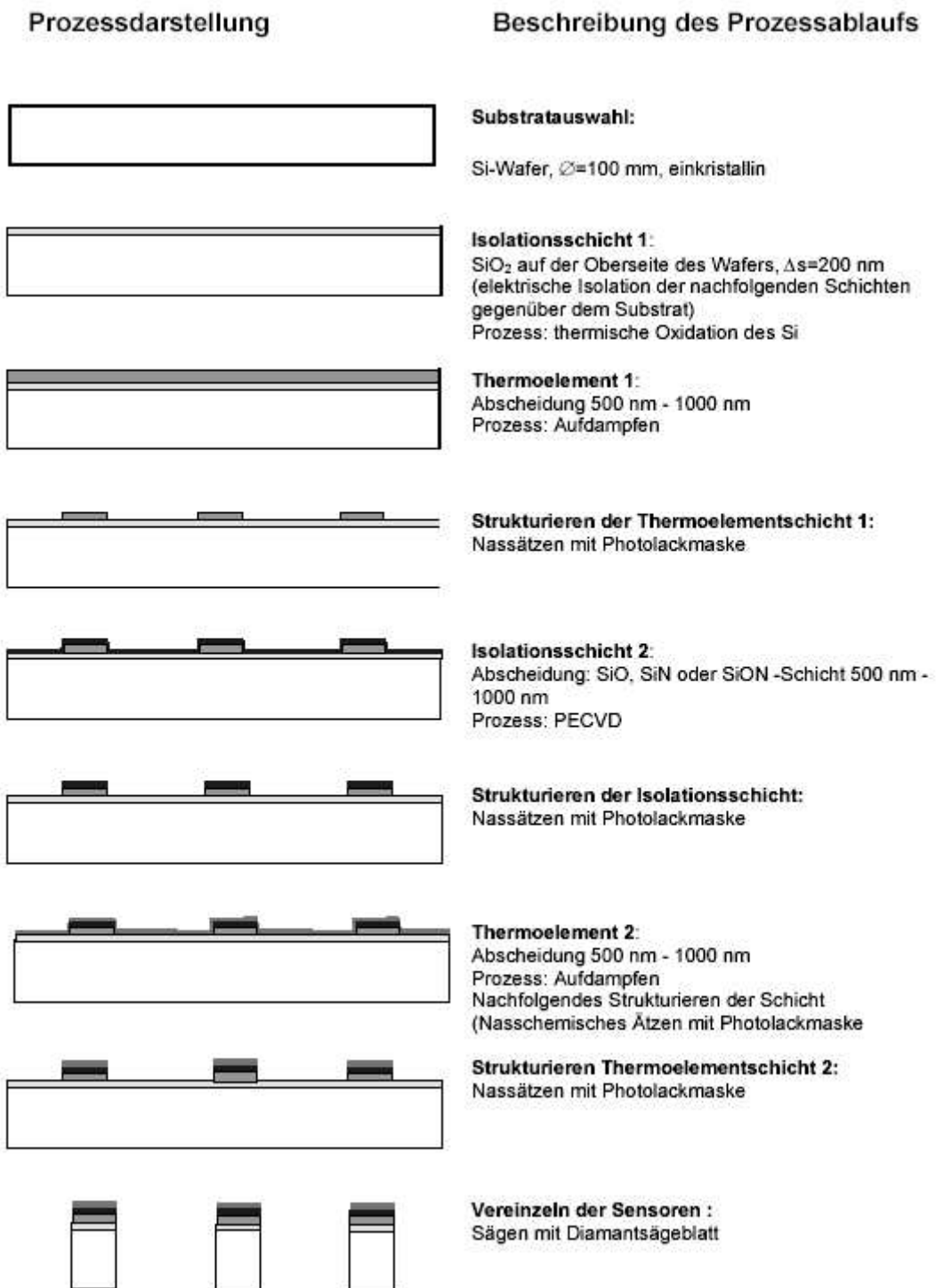


Bild 5: Darstellung des Prozessablaufes zur Herstellung der Temperatursensoren

#### 2.1.1.1 Herstellung der Alumel- und Chromel-Thermoelementschichten:

Die verwendeten Chromel- und Alumelschichten werden mittels eines Aufdampfverfahrens hergestellt. Beim Aufdampfen werden im Hochvakuum die