

Die piezoresistive Technologie auf dem richtigen Weg



Statement: Der Drucktransmitter, der den Industrie-Markt beherrschen wird, hat einen nach IC Technologie gefertigten Sensorchip mit integrierter Elektronik, der in ein ölgefülltes Gehäuse mit Trennmembrane eingebaut ist.

Geschichte:

Vor 35 Jahren, als der Autor in der Druckmesstechnik seine erste Anstellung fand, waren die Kosten für einen typischen Druckaufnehmer im Bereich von 700 bis 1200 DM. Vorherrschende Technologie war damals die geklebte "Strain Gauge" Messzelle von Bell und Howell oder Hottinger und Baldwin. Es gab die LVDT von Schävitz, Metallmembranen zu Kapazitätsplatten ausgebildet, Potentiometer, deren Greifarm von den deflektierenden Membranen verstellbar wurden nebst einem weiteren Dutzend von Messwerken, die sich auf dem Markt tummelten.

Die Technologien waren entweder zu kostspielig oder erfüllten die Stabilitätsbedingungen nur ungenügend.

Statham brachte anfangs der 60er den ersten Dünnfilm-Aufnehmer mit guter Stabilität und zu Preisen der Strain Gauges auf den Markt und begann den breiten Durchbruch dieser Technologie. Grosse Preisreduktionen bei hohen Stückzahlen peilte man nicht an.

Der Ruf nach günstigen, stabilen Aufnehmern war von der Industrie aber unüberhörbar und es gab hektische Entwicklungen auf den verschiedensten Ebenen. Die meisten gingen aus von dem von Pfann und Thursten entdeckten und publizierten piezoresistiven Effekt. Ist der Wirkungs- oder K-Faktor (das Verhältnis von Widerstandsänderung zu dimensionaler Änderung) für metallische Drähte ~ 2 und hauptsächlich durch die Verlängerung und Verdünnung eines Drahtes bestimmt, so tritt bei Halbleiterwiderständen ein Effekt auf, der bis 50 mal grösser sein kann.

Es gab viele Entwicklungen, die brüchigen Halbleitermaterialien zu dünnen Drähten zu formen und auf Träger wie Membranen oder Biegebalken zu kleben. Die einzige Firma, die dieses schwierige Problem meisterte, ist die Firma Data Instruments, die auch heute noch diese Technologie anbietet.

Ganz enthusiastisch sind die Entwickler geworden, als 1964 der erste Planartransistor auf den Markt kam, der Anfang der integrierten Schaltungstechnologie, und ganze Widerstandsbrücken auf ein kleines Schaltplättchen integriert werden konnten. Es gab auch hier viele Versuche, diese Plättchen auf

die Metallmembranen zu kleben. Namhafte Firmen wie Philips hatten sich mit solchen Konstruktionen weit aus dem Fenster gelehnt und sind baden gegangen. Diese Pleiten gaben der piezoresistiven Technologie das katastrophale Image, festigte immer mehr die Überzeugung, dass nur Dünnfilm stabil sein könne. Eine Einstellung, die heute noch nachwirkt...

Bei Honeywell hatte man schon früh die Idee, den Siliziumchip gleich auch zur Druckmembrane auszubilden. Nun musste die winzige Druckmembrane auf einen Träger aus Stahl geklebt werden. Das Problem der Materialverschiedenheit von Silizium und Metall war damit etwas entschärft, da die Sensorelemente nur indirekt von den Fremdspannungen der Klebestelle beeinflusst wurden und das Gros der Fremdspannungen durch die Anordnung der Widerstände ausgegügelt werden konnte. Tony Kurtz verliess mit diesem Technologiestand Honeywell und gründete die Kulite. Auch Druck England basierte ihre Firmenengründung auf dieser Technologie.

Der grosse Durchbruch der piezoresistiven Technologie kam mit der integriert herstellbaren homogenen Silizium-Messzelle, für die der Autor von Honeywell zum Erfinder benannt wurde. Es war absehbar, dass diese Drucksensoren in hohen Stückzahlen billigst gefertigt werden konnten. National Semiconductor, wohin Art Zias die Technologie von Honeywell brachte, versprach sich damit ein Riesengeschäft. Die erste grosse Produktion für diese Messzellen wurde aber von Delco aufgezogen für den MAP-Sensor (Manifold Pressure Sensors). 1966 wurde vom amerikanischen Kongress die Clean Air Bill verabschiedet, die den Schadstoffausstoss für Automobile beschränkte. Die Automobilindustrie verlangte einen Aufschub, weil die Technologie und vor allem auch kostengünstige Sensoren noch nicht verfügbar waren. Anfangs der 70er Jahre wurden dann die ersten Autos mit elektronischer Steuerung und den MAP-Siliziumsensoren auf den Markt gebracht, die die Clean Air Bill Bedingungen einhalten konnten.

Die Silizium-Sensoren wurden dabei nackt oder mit einem Gelschutz versehen in die Autos eingebaut. Ein sehr ungenügender

Schutz, der für diese Anwendung offenbar genügte, für industrielle Anwendungen oder Niveaumessungen aber unakzeptabel war.

Bei National Semiconductor herrschte ziemliche Ratlosigkeit, wie das Produkt in den industriellen Markt gebracht werden sollte. Der als Wasserschutz propagierte Parylene-Überzug musste nach 6 Monaten wieder zurückgezogen werden.

Das von Art Zias - dem Mister Piezo von Amerika - geschriebene Handbuch von National Semiconductor zeigte beispielsweise eine Anleitung für eine Niveaumesssonde. Man nehme einen Gummihandschuh, fülle ihn mit Silikonöl oder kaltgepresstem Olivenöl, stecke das Kabel mit dem Sensor in den Handschuh, binde die Handschuhöffnung mit einer Schnur zusammen und tauche so das ganze in die Brühe. Es war von Theorie her auch viel Geniales in dem Handbuch und nach Aussage von Art Zias war der Umsatz, den National Semiconductor aus dem Buchverkauf löste, zeitweise grösser als der Umsatz mit den Druckmesszellen, was zeigt, wie viele sich mit dem Problem der Drucksensorik beschäftigten. In letzter Verzweiflung startete National Semiconductor eine Inseratekampagne unter dem Motto: A brandnew way to measure pressure: With the naked silicon sensor.

Der Autor parodierte zurück: A brandnew way to make love: Naked.

Die Unfähigkeit der Amerikaner, für die Silizium-Messzelle ein Schutz-Gehäuse zu entwickeln, erlaubte einer neuen Technologie den Durchbruch sowohl im industriellen als auch im Automobil-Sektor: Der kapazitiven Keramik-Messzelle von Kavlico, die heute auch von Texas Instruments in Millionen von Stückzahlen gefertigt wird.

Nicht viel schlauer waren die Europäer oder Japaner. In Europa entwickelte die Magnetti Marelli (Fiat) die Keramik Dickfilm Messzelle, der aber nicht der Erfolg beschieden ist wie der kapazitiven Messzelle. Technologisch ist dies auch erklärbar, da die Unstabilitäten der Haftstelle Keramik/Sensorelement direkt einfließen. Die Erfahrungen aus der Siliziumtechnologie wurden hier vernachlässigt.



Von Japan kam mit Nippon Denso die nackte, von hinten beaufschlagte Silizium-Messzelle, wobei die Elektronik und der Sensor mit einer Gel-Schicht geschützt sind, da sie ja der Referenzdruckatmosphäre ausgesetzt sind. Abgesehen davon, dass Absolutdrucksensoren damit kaum herstellbar sind, erweckt die Analyse des Transmitteraufbaus beim Autor den gleichen Eindruck der Verzweigung wie bei National Semiconductor.

Gegenwart und Zukunft

Wir haben es schon 1993 in dem Artikel des Messeblattes "Marketing von Drucksensoren" so formuliert:

Die Marktpositionen werden über kurz oder lang von den Technologien bestimmt. Nach unserer Abschätzung wird sich bei einem transparenten Markt das Gros der industriellen Anwendungen mit der kapazitiven Keramik-Messzelle im Bereich von 10 mbar bis 1 bar erschlagen. Im Bereich von 1 bar bis 1000 bar wird die piezoresistive Technologie das Feld beherrschen. Andere Technologien werden sich in Nischenmärkten tummeln müssen, da die Gesteungskosten mit Dünnschichttechnologie als Beispiel zu hoch sind, um bei Grossprojekten mitzuhalten.

Das wurde vor 6 Jahren geschrieben. Der Dominanz der kapazitiven Keramik-Technologie für Bereiche über 1 bar konnte in gewissen Gebieten wie der Klimatechnik mit der piezoresistiven Technologie Paroli geboten werden. Die grossvolumigen Automobilprojekte laufen weiter über Keramik. Trotzdem stehen wir zu unserer Aussage.

Wir stellen hier einen neuen Transmitter vor (Zeichnung 1), der, aus unserer Sicht, technologisch gegenüber der kapazitiven wesentliche Vorteile hat und in Zukunft auch in den anspruchsvolleren Automobilanwendungen die Dominanz der kapazitiven zu durchbrechen sucht.

Die Entwicklung eines Gehäuses mit Trennmembrane ist der Schwerpunkt der Entwicklung in der KELLER AG seit ihrer Gründung vor 25 Jahren. Heute ist es soweit, dass wir den Prozess entwickelt haben, der vergleichbare Herstellkosten zu den Gehäusen für die Keramik-Zellen ermöglicht. Der patentierte Durchlauf-Lötprozess verbindet das Gehäuse aus Messing mit einem einfachen Stahleinsatz und der Nickel-Membrane. Der Prozess lässt sich voll automatisieren.

Was die Elektronik- und Abgleichkosten betrifft, kann für die beiden Technologien kein Vorteil ausgemacht werden. Auch Genauigkeit ist eigentlich für beide kein Thema mehr. Die Stabilitäten sind hervorragend, Ungenauigkeiten lassen sich durch kundenspezifische Schaltungen wergemessen.

Die Vor- und Nachteile beschränken sich somit auf die Kosten für den Sensor und dessen Einbau.

Die kapazitive Keramik-Messzelle kann kaum im Verbund gefertigt werden. Werden heute auf 6-Zoll-Waffeln 5000 piezoresistive Druckmesszellen gefertigt, so sind für 5000 Keramik-Zellen 10 Kuchenbleche notwendig, wobei jedes Stück einzeln durch die verschiedenen Screening-Prozesse durchgeschleust werden muss.

Der Aufbau der piezoresistiven Messzelle auf eine Glasdurchführung und das Einschweissen in das Gehäuse sind vergleichbar mit dem Aufwand für das Packaging eines Transistors. Alle Prozesse sind automatisiert, die Prozesse und Maschinen aus der Halbleiterindustrie wie das "Die-Bonding" und das automatische Drahtbonding werden jährlich verbessert. Das Einschweissen der Glasdurchführung unter Öl ist seit Jahren bewährt.

Die Messzelle liegt schliesslich von allen widrigen Einflüssen geschützt in einem abgeschlossenen Ölraum in einem Gehäuse ohne interne O-Ringe.

Die Keramikmesszelle wird im Gehäuse mit einem O-Ring abgedichtet, der dem Messmedium angepasst werden muss. Der gleiche O-Ring kann nicht für heisses Wasser und Benzin eingesetzt werden. Ausserdem ist die O-Ring Dichtung immer eine mögliche Ausfallursache. Envec (Endress+Hauser) versucht den Bedenken im Markte zu begegnen mit einer Inseratenkampagne mit folgender Aussage:

Drucktransmitter fallen nach 5 Jahren aus, ja, und Bayern München steigt nächstes Jahr ab. Envec sollte fairerweise diese Aussage spezifizieren und sagen: Transmitter mit O-Ring

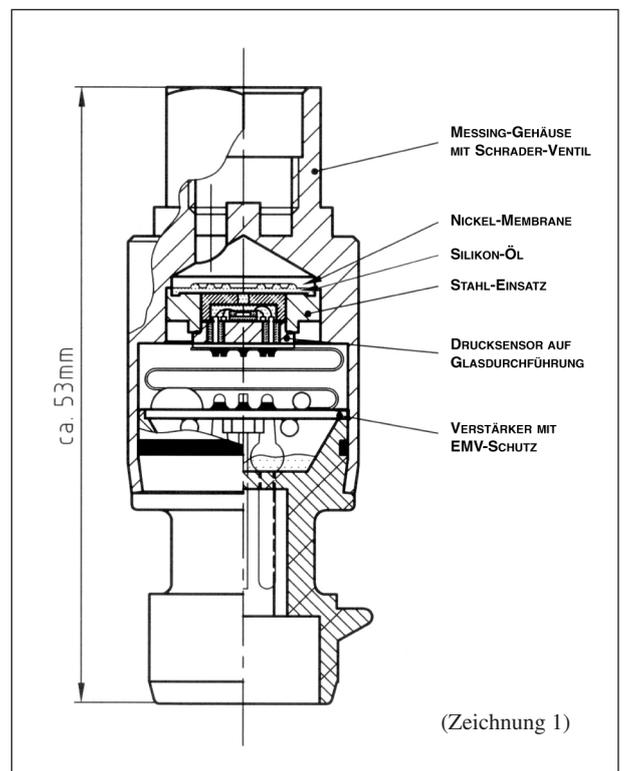
gedichteten Keramik-Messzellen fallen nach fünf Jahren aus. Mit der Envec Aussage wird ein Technologie-spezifisches Problem verallgemeinert. Dies nur am Rande.

Einen grossen Teil der Materialkosten nimmt heute der Print oder Hybrid mit der Verstärkerelektronik ein. Hier ist bei der piezoresistiven Technologie eine weitere Reduzierung der Kosten vorsehbar. Es gibt heute schon piezoresistive Sensoren von Bosch und Fuji, bei denen die Abgleichs-Elektronik auf dem Chip integriert ist. Der Abgleich wird durch Lasertrimming auf der Oberfläche des Chips vorgenommen. Es wird jetzt an Schaltungen gearbeitet, wo der Abgleich über eine aus dem Ölraum herausgeführte Schnittstelle erfolgt.

Die Komponentendichte der integrierten Schaltungstechnologie ist derart rasant, dass, nach unserer Abschätzung, in 10 Jahren ein Drucksensor, ein μP für digitale Kompensation mit A/D und D/A Wandler auf einem Chip integriert werden können zu Chipkosten von 1 \$. Dann ist Sensor mit Elektronik optimal im Ölraum geschützt und für den EMV-Schutz sind die Glasdurchführungskapazitäten schon die halbe Miete.

Vor 30 Jahren haben wir den 10 \$ 2%-Transmitter anvisiert. Für die nächsten 10 Jahre ist es der 5 \$ 0.1%-Transmitter.

H.W. Keller ist Inhaber der KELLER AG für Druckmesstechnik



(Zeichnung 1)