

Messwerte digital erfassen – Novum für kapazitive Sensortechnik

Der Markt für kapazitive Messtechnik wächst rasch, ob für Abstands- und Beschleunigungsmesser, Feuchtigkeits- oder Drucksensoren. Sie alle beruhen auf dem Prinzip, dass eine eingebaute Kapazität abhängig von der Distanz der Kondensatorplatten verändert wird. Die bewirkten Kapazitätsänderungen sind im Vergleich zur Ruhkapazität sehr klein. Deshalb verlangt die Auswertung solcher Daten neue, hoch präzise Messmethoden, wie sie das IMES an der Hochschule Rapperswil entwickelt.

Clevere Partner für Technologieschub

Kapazitive Messwertaufnehmer sind heute das Werkzeug der Wahl, wenn es gilt, Prozessgrößen des Vakuums zu erfassen. Der Markt für Vakuummessgeräte beträgt an die 200 Mio. Euro. Im Bereich Halbleiter hält die kapazitive Messtechnik 70 %, im Sektor Beschichten – beispielsweise CD, DVD, Werkzeuge sowie dekorative Schichten – rund 30 %. Hoch auflösende Drucksensoren, wie sie zur Erfassung des Absolutdruck eingesetzt werden, erfordern eine Kompensation der verschiedenen Einflüsse – wie Temperatur und Umgebungsdruck – und eine Kalibrierung des Sensors. Wird die Sensorkapazität rein analog erfasst, leidet die Sensorgenauigkeit, da die Nichtlinearität und der Temperaturdrift nur beschränkt kompensierbar sind. »Eine digitale Messwertaufbereitung mit einem Mikroprozessor würde die Linearisierung und Kalibrierung des Drucksensors erheblich vereinfachen und eine kostengünstigere Produktion erlauben«, sagte sich Hansjakob Hanselmann, Spezialist für Vakuummesstechnik der Inficon AG in Balzers. Durch einen Kontakt mit der CSEE SA, dem Schweizer Versuchszentrum für elektrische Bauteile, stieß er auf die Hochschule Rapperswil.

Das dortige IMES (Institute for Microelectronics and Embedded Systems) hat sich auf ASIC-Design spezialisiert, verfügt über professionelle System- und ASIC-Designumgebung mit CAD-Tools und einem Messgerätepark. Institutsleiter Werner Hinn schlug vor, zuerst in einer vom MICROSWISS-Programm unterstützten Studie mögliche Varianten für eine Messwerteerfassung zu untersuchen. Als die Machbarkeit erwiesen war, lancierte er ein Projekt, für das die KTI – die Schweizer Förderagentur für Innovation – die Forschungsarbeiten finanzierte. Die Inficon engagierte sich als Industriepartner, stellte Entwicklungsingenieure und eine Kalibrieranlage für ASIC-Verifikationen zur Verfügung. Ihr Ziel: Einen ASIC für einen langzeitstabilen, hoch auflösenden kapazitiven Drucksensor zu realisieren.

Blick ins Innenleben eines kapazitiven Drucksensors

Kapazitive Drucksensoren, wie sie die Inficon herstellt, bestehen aus einem

Rückhaltelabyrinth für Plasma und Partikel, das elektrische Felder und Teilchen vom Sensor fern hält. Falls durch ein leichtes Temperaturgefälle kondensierbare Gase oder Gasbestandteile entstehen, können sie sich nicht auf der empfindlichen Membran niederschlagen, was die Messung beeinflussen würde. Als Druckaufnehmer dient eine Keramikmembran, je nach Druckbereich 60–800 Mikrometer dick. Das feinkörnige, hochreine Aluminiumoxid macht sie resistent gegen aggressive gasförmige chemische Verbindungen, wie beispielsweise die gefürchteten Chlorverbindungen, und garantiert Korrosionsbeständigkeit. Die Kapazitätsveränderung, die die Membranbiegung bewirkt, wird in ein lineares Ausgangssignal umgewandelt, das proportional zum Druck steht. Solche Keramikmembranen zeigen weder plastische Deformations- noch Alterungserscheinungen, sind langfristig genau und die Resultate wiederholbar. Auch erweisen sie sich als resistent gegenüber hohen Druckstößen (maximal



Bild: Elsbeth Heinzelmann

▲ Roman Steiner prüft die Funktion des Drucksensormoduls mit Hilfe einer Vakuumpumpe



Bild: Elsbeth Heinzelmann

▲ Hansjakob Hanselmann (Projektleiter Inficon) und Roman Steiner (ASIC-Entwicklungsingenieur am Institut IMES) besprechen das Projekt

zulässiger Überdruck bis zwei bar). Der Sensor wird zudem mit einer analogen oder digitalen Schnittstelle versehen sowie mit einer »Verpackung«, die ihn vor Umwelteinflüssen schützt. Muss der Sensor in der Anwendung auf eine andere Temperatur gebracht werden, lässt sich über eine Heizkammer eine interne Sensorheizung vorsehen. Es war die Auswerteelektronik, die den druckabhängigen Hub der Membran in ein elektrisch verwertbares Signal umwandelt, die es im KTI-Projekt durch eine anwendungsspezifische integrierte Schaltung – einen ASIC – zu ersetzen galt.

ASIC-Design – Weg mit Hindernissen

Zuerst erarbeiteten die Projektpartner ein Gesamtkonzept, legten die technischen Anforderungen wie Funktionalität und Genauigkeit fest. Dann hieß es, den Drucksensor hinsichtlich Temperatur- und Atmosphärendruckeinflüsse zu charakterisieren und das System zu simulieren. Es folgte eine Testintegration mit dem Design der analogen Schaltungsteile und der Entwicklung eines FPGA, um diese steuern zu können. Auf dieser Basis konnten die Forscher die Spezifikation für den nötigen ASIC festlegen, Design und Verifikation an die Hand nehmen. Beitrag der Inficon war die Ent-

wicklung von Algorithmen zur Linearisierung und Kalibrierung der Sensorcharakteristik. Unterdessen evaluierte das IMES-Team einen geeigneten Mikroprozessor für die Messwertaufbereitung, entwickelte die Sensorelektronik sowie eine Software zur Verifikation des Systems. Die Inficon-Ingenieure stellten zu Testzwecken einen Druckmessstand auf die Beine sowie eine Software für die Datenauswertung. In einem Engineering-Run galt es dann, die Spezifikationen zu vervollständigen.

Doch die Aufgabe war mit Knacknüssen gespickt. »Eine Herausforderung bestand in der hohen Auflösung von 16 bit, die einem Fünftel eines Heliumatoms entspricht«, so IMES-Projektleiter Roman Steiner. »Der Hub beträgt lediglich 5–10 Mikrometer, wodurch der Sensor minimalste Kapazitätsänderungen erfährt und deshalb die parasitären Kapazitäten möglichst klein gehalten werden müssen. Je nachdem die Keramikmembran horizontal oder senkrecht eingebaut ist, registriert sie sogar den Einfluss der Gravitation.« Kopfzerbrechen bereitete der Engineering-Run. »Die benachbarte Austria-Microsystems AG, mit der wir üblicherweise kooperieren, bietet nur noch 30 cm Wafer, was keinen Engineering-Run erlaubt«, erinnert sich Diplomingenieur Roman Steiner. »Die

CSEE gab uns den Tipp, die X-FAB aufzusuchen, eine führende europäisch-amerikanische Foundry, spezialisiert in Mixed-Signal-Anwendungen, die in ihrer deutschen Niederlassung unser Problem mit einem Multi Product Wafer lösen konnte.«

ASIC setzt neue Maßstäbe

Im Dezember 2005 stellte die Inficon-Crew ihre neueste Generation der INFLICON SKY™ CDG025D Capacitance Diaphragm Gauges an der SEMICON Japan, der weltweit größten Ausstellung für Halbleitertechnik, aus. Sie setzt damit neue Maßstäbe im Bereich kapazitiver Drucksensoren. Die Linearisierung der Sensorkennlinie und die Kompensation verschiedener Einflüsse sind einfach implementierbar. Durch die digitale Messwerverfassung lässt sich leicht eine zusätzliche digitale Schnittstelle für die Weitergabe der Messwerte vorsehen. Die Digitalisierung von Messwerverfassung und Verarbeitung erlaubt, Kalibrier- und Justierprozesse zu vereinfachen. Dies

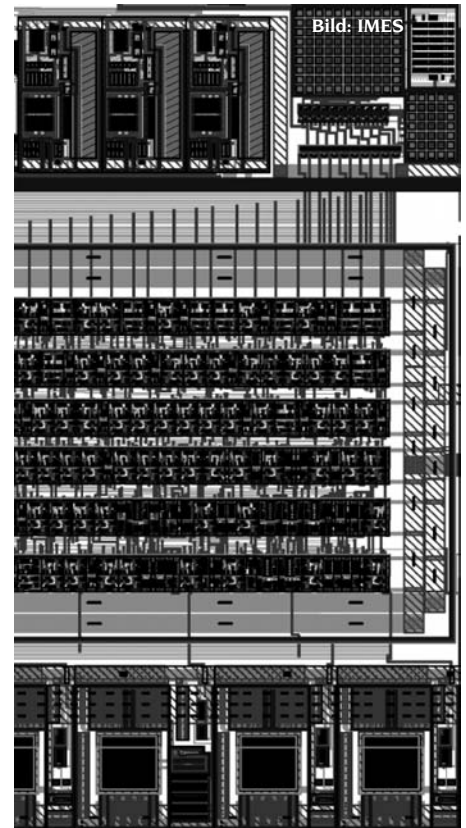


Bild: IMES

▲ Ausschnitt ASIC-Layout: Eine integrierte Referenzkapazität wird softwaregesteuert in Schritten von sechs Femtofarad abgeglichen



Bild: INFICON

▲ Rasches Einschwingen und Langzeitstabilität – damit setzt der kapazitive Drucksensor INFICON neue Standards

bewirkt in der Produktion massive Einsparungen, erhöht die Genauigkeit der Sensoren und schafft die Voraussetzung für die Massenfertigung. Der Sensor lässt sich unabhängig von der Art des eingesetzten Gases anwenden, kann also eine ganze Palette von Prozessgrößen messen. »Anwender von Vakuumtechnik wollen den Druck ihrer Anlagen reproduzierbar, unabhängig von der Gasart, schnell und präzise messen. Dazu eignet sich kapazitive Membranmesstechnik besonders«, kommentiert Elektroingenieur Hanselmann. »Bis heute sind keine anderen Messprinzipien bekannt, die Drücke von 1.000 Torr bis 0,001 Torr besser als 1% messen, und dies reproduzierbar und unabhängig von der Gasart innerhalb einiger 10 Millisekunden in reaktiven Medien.«

Positive Bilanz zieht ebenso das IMES-Team, das im KTI-Projekt neues Know-how aufbauen konnte. »Technologische

Vorstöße wie dieser kapazitive Drucksensor lassen sich nicht mit Blick auf eine rasche Marktumsetzung erzielen«, so Professor Werner Hinn. »Erste Arbeiten für die Charakterisierung eines Full Custom Chips führten wir bereits 2001 im Rahmen einer Diplomarbeit durch. KTI-Projekte helfen den Fachhochschulen, mit praxisnahen Themen eine erstklassige Ausbildung zu bieten und erlauben Unternehmen, wenig bekannte Technologien für ihre Produkte zu nutzen.«

Das Projekt wurde durch die KTI, die Förderagentur für Innovation, unterstützt.

Gespräch mit Urs O. Wälchli, Vizepräsident und Geschäftsführer INFICON AG

Mit dem Einbezug eines ASIC für die Auswerteelektronik beschreitet die Inficon technologisches Neuland. Entspricht dies einer bewussten Strategie?

Die Inficon verfolgt eine aktive Forschungs- und Entwicklungspolitik. Wir wollen zu den Technologie-Pionieren gehören, nicht Entwicklungen hinterher rennen, sondern führend sein. Das bedingt, dass wir relativ viel Geld in Entwicklungsprojekte stecken und risikofreudig sind. Für Innovation formulieren wir ehrgeizige Entwicklungsprojekte, verteidigen erreichte Positionen mit Patenten und der permanenten Weiterentwicklung unserer Produkte. Das dazu nötige Wissen stammt aus verschiedenen Quellen, beispielsweise aus Kooperationen mit Hochschulen. *Welches war die Motivation der Inficon, sich im KTI-Projekt zu engagieren?* Wir suchten eine Partnerschaft mit Experten auf dem Gebiet der ASIC. Die Zusammenarbeit mit dem IMES der Hochschule Rapperswil ermöglichte uns die Unterstützung durch die KTI und den Kontakt zu absoluten Top-Experten. Dies hat die Nachteile einer Kooperation mit einer Hochschule wettgemacht.

Welcher Art sind diese Nachteile?

Kooperationen mit Hochschulen erfordern stets ein gewisses Maß an Mut zum Offenlegen von technischen Geheimnissen. Ebenso braucht es

gegenseitige Toleranz, sind doch die Vorgehensweisen zwischen Hochschule und Industrie oft verschieden – und sollen es ein Stück weit auch bleiben. *Wie beurteilen Sie die erzielten Resultate?* Durchwegs positiv: Im technischen Sinn haben wir mit dem kapazitiven Drucksensor die Marktanforderungen getroffen. Sowohl das Projekt-Know-how wie die technischen Leistungen des ASIC beurteile ich als sehr gut. Wir können heute – dank der engen Zusammenarbeit im KTI-Projekt – ASIC-Entwicklungen selbst durchführen. Die Umsetzung in den Markterfolg wird jedoch erst im Laufe 2006 zu beurteilen sein.

URL-Adressen:

CSEE SA, Neuchâtel:
www.csee.ch

Inficon AG:
www.inficon.com

Mikroelektronik HSR :
www.imes.hsr.ch

Vakuumtechnik:
www.swissvacuum.org

Glossar

ASIC

Application Specific Integrated Circuit = Anwendungsspezifische integrierte Schaltung

FPGA

Field Programmable Gate Array = Frei programmierbarer Logikschaltkreis

Multi Project Wafer (MPW)

Auf dem MPW werden die ASIC mehrerer Kunden angeordnet, die einmaligen Kosten für den Durchlauf und die Fertigungsmasken nach individuellem Anteil getragen. Der MPW erlaubt Forschungsinstituten und Kleinfirmen, mit geringen Kosten einen ASIC herzustellen und reduziert das Risiko von Fehlpräparationen

Autorin:

Elsbeth Heinzelmann
Journalistin Wissenschaft
und Technik