

Verbundvorhaben:

**Mikrosystemtechnisch hergestelltes Sensorsystem zur
Klimadatenerfassung
(A-Haus)**

Teilvorhaben

Sensorik und Kalibrierung

FKZ: 16 SV 923/0

Abschlußbericht

Berichtszeitraum: 1998-11-01 bis 2001-10-31

Zuwendungsempfänger: Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg
Institut für Mikro- und Sensorsysteme (IMOS)
Lehrstuhl für Halbleitertechnologie
Universitätsplatz 2
D-39106 Magdeburg

Projektleiter: Prof. Dr.-Ing. Edmund P. Burte
Fax: (0391) 67 12103
Tel.: (0391) 67 18398
e-mail: edmund.burte@e-technik.uni-magdeburg.de

Berichtersteller: Dr.-Ing. Reinhard Mikuta
Dipl.-Phys. Christian Wennmacher



Inhaltsverzeichnis

1.	Allgemeine Angaben	3
2.	Zielsetzung – Aussicht auf Erreichen der Vorhabensziele	3
3.	Ergebnisse für den Berichtszeitraum	4
3.1	Sensorentwicklung	4
3.1.1	Luftfeuchtfeuchtigkeitssensor	4
3.1.1.1.	Sensorkonzept	4
3.1.1.2	Feuchtigkeitssensor in lateraler Ausführung der Kondensatorelektroden	5
3.1.1.3	Feuchtigkeitssensor mit gestapelten Kondensatorelektroden	8
3.1.2	Kombinierter Windgeschwindigkeits- und Windrichtungssensor	12
3.1.2.1	Prinzip des Windsensors	12
3.1.2.2	Messung der Windgeschwindigkeit	13
3.1.2.3	Messung der Windrichtung	17
3.1.3	Strahlungsleistungs- und Sonnenstandssensor	20
3.2	Sensorinterface und Kalibrierung	25
3.2.1	Messung der Lufttemperatur	25
3.2.2	Messung der Strahlungsleistungsdichte der einwirkenden Sonnenstrahlung	29
3.2.3	Messung der relativen Luftfeuchtigkeit	33
3.2.4	Erfassung von Niederschlag	35
3.2.5	Messung der Windgeschwindigkeit	37
3.2.6	Messung der Windrichtung	39
3.3	Gesamtschaltung der miniaturisierten Wetterstation WS 2002	41
3.5	Anforderungen an ein Gehäuse der Wetterstation	44
4.	Zusammenfassung der Ergebnisse	45
5.	Fortschreibung des Verwertungsplanes	47
6.	Veröffentlichungen zum Vorhaben	48
7.	Literaturverzeichnis zum Vorhaben	49



1. Allgemeine Angaben

Zuwendungsempfänger:

Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg
Institut für Mikro- und Sensorsysteme (IMOS)
Lehrstuhl für Halbleitertechnologie
Universitätsplatz 5
D-39106 Magdeburg

Förderkennzeichen:

16 SV 923/0

Projektleiter:

Prof. Dr.-Ing. Edmund P. Burte

Laufzeit des Vorhabens:

1998-11-01 bis 2001-10-31

Kooperationspartner:

Firma Wolf Meßtechnik GmbH, Schwabach
Firma Heraeus Sensor-Nite GmbH, Kleinostheim
Firma Siegert electronic GmbH, Cadolzburg
Firma Kieback & Peter GmbH & Co KG, Berlin

2. Zielsetzung – Aussicht auf Erreichen der Vorhabensziele

Die Zielsetzung des durch das BMBF geförderten Verbundvorhabens war die Entwicklung einer miniaturisierten Außenwetterstation, mit der die äußeren klimarelevanten Wetterdaten mit dem Ziel einer energieoptimierten Gebäudeklimaregelung erfasst werden. So sollen die meteorologischen Werte Lufttemperatur, relative Luftfeuchtigkeit, Strahlungsleistungsleistungsdichte der einwirkenden Sonnenstrahlung, die Windgeschwindigkeit, die Windrichtung und das Vorhandensein von Niederschlag in einer geometrisch kompakten Wetterstation erfasst und einheitengerecht über eine geeignetes BUS-System an einen Gebäudeleitreehner übermittelt werden. Im Vordergrund der Arbeiten steht dabei die Herstellung eines Prototyps einer solchen Station und die Einbindung dieser in ein Gebäudeleitsystem. Damit wird ein intelligente Messmittel realisiert, das sich sehr gut für die Automatisierung von Steuerungsfunktionen im Hausbereich eignet [1].

Es muß in diesem Zusammenhang auch darauf verwiesen werden, dass die Berücksichtigung der Sonneneinstrahlung in der Energiebilanz eines Gebäudes zu merklichen Einsparungen von Energiekosten führt, wenn die baulichen und technischen Voraussetzungen vorhanden sind [2]. Des weiteren beeinflussen Windgeschwindigkeit und Luftfeuchtigkeit die Wärmeübergangszahl an der Gebäudeoberfläche. Aus der Kenntnis dieses Zusammenhangs kann das Regelungsverhalten von Heizungsanlagen wesentlich beschleunigt werden. Es braucht nicht mehr der Durchgriff eines erhöhten Energieabtrags an der Oberfläche des Gebäudes als Eingangsgröße für die Regelung abgewartet werden, sondern es kann eine Regelung mit sogenanntem Vorhalt erfolgen [2].



Die Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde, waren davon geprägt, dass ein kompaktes Meßsystem, möglichst geometrisch klein entwickelt wird, das derzeit übliche dezentrale Wetterstationen ablösen kann. Dazu fanden sich Projektpartner zusammen, die in einer Verwertungskette eingereiht sind. So sind Vertreter der Sensorentwicklung, der Sensorfertigung, der Fertigung mit zugehöriger Softwareentwicklung und der Anwendung in diesem Projekt vertreten. Die Planung und der Ablauf des Vorhabens erfolgten auf dem mit den Projektpartnern abgestimmten Arbeitsplänen zu den einzelnen Teilvorhaben.

Der wissenschaftlich und technische Stand an dem das Vorhaben anknüpfen konnte basiert im Wesentlichen auf gerätetechnische Lösungen, die bisher in der Erfassung von Klimadaten in Gebäudeleiteinrichtungen Verwendung finden. Die bisher üblichen Lösungen basieren auf Einzelkomponenten, die in eine zentrale Recheneinheit, ggf. ein Mikrorechner, zusammengeführt werden. Es sind Einzelsysteme am Markt vorhanden, die bereits BUS-Systeme verwenden, um auf diese Weise eine einfache Kommunikation mit dem Leitrechner zu ermöglichen. Eine gerätetechnische Lösung, die alle klimarelevanten Daten in einer Baueinheit vereint und einen BUS zur Kommunikation nutzt, ist derzeit nicht am Markt verfügbar. Auch während der Bearbeitung des Vorhabens sind solche gerätetechnisch, kompakte Lösungen nicht bekannt geworden.

Während sich bei fast allen zu messenden meteorologischen physikalischen Größen kostengünstige Schaltungsvarianten ergaben, traten bei der fertigungstechnischen Fixierung des Windsensors Stabilitätsprobleme auf, die dazu Anlaß gaben, die mechanische Ausführung des Sensors noch einmal zu überdenken. Die dadurch erforderlichen zusätzlichen Arbeiten beeinträchtigten aber nicht die Aussicht auf das Erreichen der Zielstellung des Vorhabens.

Die Arbeiten zur Entwicklung des Windgeschwindigkeits- und Windrichtungssensors gestalteten sich infolge des zu Projektbeginns nicht absehbaren Umfang als besonders schwierig. So musste für seine Entwicklung noch die verfügbare Projektzeit zwischen dem Projektende und der abschließenden Berichterstattung für Entwicklungsarbeiten genutzt werden. Dadurch konnte aber ein Funktionsmuster der miniaturisierten Wetterstation WS 2002 im Mai 2002 vorgelegt werden und so das Projekt zu einem erfolgreichen Abschluß geführt werden.

3. Ergebnisse für den Berichtszeitraum

3.1 Sensorentwicklung

3.1.1 Luftfeuchtigkeitssensor

3.1.1.1. Sensorkonzept

Das zum Einsatz kommende Funktionsprinzip des Feuchtigkeitssensors basiert auf einer Kondensatoranordnung. Die heute dafür übliche Kondensatoranordnung sieht dafür eine Plattenkondensatorstruktur vor, bei der zwischen den beiden Elektroden ein feuchteempfindliches Dielektrikum angeordnet ist und die obere Elektrode als poröse, wasserdampfgängige Goldelektrode (Deckelektrode) ausgeführt ist [3]. Aus technologischen Gründen war dieser Weg aber nicht begehbar. Bei dem zu entwickelnden Sensor wurde diese obere poröse Elektrode durch eine IDK-Struktur ersetzt, so dass eine geometrisch abgegrenzte Deckelektrode vorlag, die mit Mitteln der Halbleitertechnologie, der Fotolithografie, hergestellt werden kann.

Unter dem Aspekt einer kostengünstigen und technologisch einfachen Lösungsvariante, wurde neben der Variante mit übereinander liegenden Elektroden und dem dazwischen liegendem feuchteempfindlichen Dielektrikum auch eine laterale Ausführung mit in die Betrachtungen einbezogen, bei der die Elektroden nebeneinander liegen und durch ein dünnes



Dielektrikum abgedeckt sind [4], die die von der Firma Heraeus Sensors-Nite GmbH für einen Taupunktsensor entwickelte Interdigitalstruktur nutzt.

Als feuchteempfindliches Dielektrikum wurde Polyimid ausgewählt, dessen relative Dielektrizitätskonstante sich infolge von Sorptions- und Desorbtiionsprozessen in feuchter Umgebung ändert. Polyimid ist ein bekannter Isolator mit guten elektrischen Eigenschaften. In der Umgebung von wasserdampfgesättigter Luft erhöht sich der Feuchtegrad auf 2,8 %, so dass die guten Isolationseigenschaften erhalten bleiben. Diese Änderung ist aber ausreichend, um eine praktisch auswertbare Kapazitätsänderung zu erreichen. Polyimid [5] besitzt eine hohe Durchschlagfestigkeit gegenüber einem elektrischem Feld, so dass bei einem Elektrodenabstandraum von 2 μm , der mit Polyimid gefüllt ist, eine Betriebsspannung von 12 V angelegt werden kann, ohne funktionsschädigende Spannungsdurchschläge zu riskieren. Das Material lässt sich außerdem gut verarbeiten und ggf. fotolithografisch strukturieren. Das ist besonders dann von Interesse, wenn Kontaktflächen freigelegt werden müssen, da eine kostengünstige Fertigung nicht mit einzelnen Chips möglich ist.

3.1.1.2 Feuchtigkeitssensor in lateraler Ausführung der Kondensatorelektroden

Bei der lateralen Ausführung der Kondensatorelektroden, in der auf einem Dünnschichtsubstrat die im **Bild 1** dargestellte IDK-Struktur angeordnet ist, sind die beiden Elektroden in einer Ebene angebracht. Die Elektroden selbst sind aus korrosionsbeständigem Platin hergestellt. Die für die Kapazität des Kondensators gegebene Geometrie wird durch den Abstand der beiden ineinander ragenden kämfförmigen Elektroden und deren Oberfläche bestimmt und ist technologisch vorgegeben. Diese Elektrodenanordnung wird mit einem ca. 2 μm dicken Polyimid als Dielektrikum mittels Lackschleuder überzogen, dessen relative Dielektrizitätskonstante infolge von Sorptions- und Desorbtiionsprozessen in feuchter Umgebung eine Änderung erfährt, die wiederum eine Kapazitätsänderung bewirkt.

Das **Bild 1** zeigt die Strukturgeometrie der verwendeten Struktur als auch die Definition der Elementkapazität C_i (links), die der Kapazitätsberechnung diene. Aus Gründen der einfacheren Vergleichbarkeit der Eigenschaften verschiedener Lösungsansätze kapazitiver Feuchtigkeitssensoren mit IDK-Struktur, erweist sich die Betrachtungsweise mittels elementarem feuchteabhängigen Kondensator $C_i(\varphi)$ als sehr brauchbar.

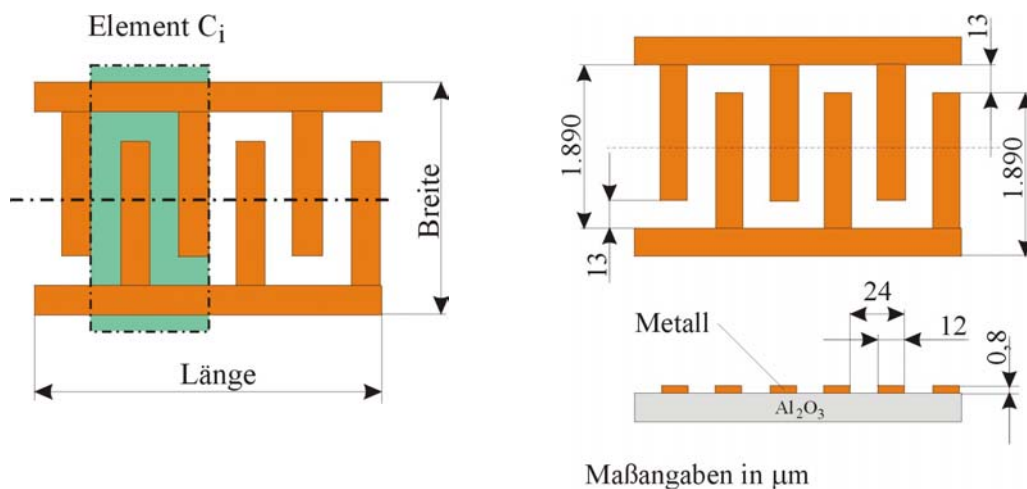


Bild 1: Ausschnitt aus der IDK-Struktur im Definitionsmodell (links) und realer Struktur (rechts).