

Kalibrierter, präziser Feuchte Sensor mit I²C Schnittstelle

Von Martin Friedrich

Obwohl die relative Luftfeuchte eine sehr häufig gemessene Größe ist, bereitet die langzeitstabile, präzise Messung mit einem kapazitiven Polymer-Sensor doch einigen Aufwand. Vor allem die technologische Umsetzung der Serienkalibrierung ist nicht einfach. Aus Sicht des Entwicklers ist es daher am Günstigsten, ein komplettes Sensorsystem einzusetzen, fertig kalibriert und mit einem digitalen Interface ausgestattet, das die fertig aufbereiteten Messwerte liefert.

Im folgenden Artikel wird solch ein kombinierter Feuchte- und Temperatursensor beschrieben, der mit einem neuen Lösungsansatz optimale Gesamt-Performance bei hervorragendem Preis-Leistungsverhältnis bietet.

Auch bei vergleichsweise einfachen Einsatzfeldern im Bereich der Gebäudetechnik, für Hausgeräte oder im Bereich Klimatechnik werden an einen Feuchtesensor hohe Anforderungen gestellt. So soll doch aus Kundensicht ein Raumklimagerät auch in 10 Jahren noch zuverlässig seinen Dienst verrichten. Für viele Einsatzbereiche soll neben der relativen Feuchte auch die Temperatur mit gemessen werden, um weitere Feuchte-Größen wie den Taupunkt oder die absolute Feuchte berechnen zu können. Gleichzeitig bestehen preisliche Restriktionen, die erfüllt werden müssen, damit der Sensor in einem neuen Produktdesign eingesetzt werden kann, vor allem, wenn es sich um eine sekundäre Messgröße handelt.

Stand der Technik

Von verschiedenen Herstellern sind monolithisch integrierte Lösungen verfügbar, die trotz einem attraktiven Preis noch nicht den Einzug in den industriellen Markt geschafft haben. Probleme ergeben sich vor allem in einem eingeschränkten Feuchte-/ Temperatur-Messbereich, schlechter Messgenauigkeit, instabilem Verhalten an den Messbereichsgrenzen und mangelhafter chemischer Resistenz gegen Störstoffe. Weitere Problempunkte sind die oft nicht gegebene Betauungsbeständigkeit und unzureichende Langzeit-Stabilität bis hin zu Ausfall bei Belastungsspitzen. Einige der Wettbewerbsprodukte zeigen eine ausgeprägte Temperaturdrift oder Empfindlichkeit gegen Lichtbestrahlung. Auch entsprechen die Protokolle der digitalen I²C-Schnittstelle oft nicht in allen Punkten dem Standard.

Nach aktuellem Stand der Technik sind die monolithisch integrierten Lösungen für den professionellen, industriellen Einsatz ungeeignet und hochwertige Lösungen im Bereich mikrosystemtechnischer Ansätze waren bisher nicht in Sicht.

Problemstellung

Aus prozesstechnischer Sicht ist bekannt, dass sich bestimmte Fertigungsschritte eines Polymersensors nicht ohne Weiteres auf einem Siliziumsubstrat herstellen lassen. Die für einen Polymersensor notwendigen, speziellen Fertigungsschritte sind nicht mit den CMOS

Prozessen kompatibel oder würden die bereits prozessierten Halbleiterstrukturen beschädigen.

Bei den bereits verfügbaren monolithischen Lösungen handelt es sich dementsprechend immer um Kompromisse, mit denen sich aber nicht die spezifischen, optimierten Eigenschaften der diskreten, kapazitiven Polymersensoren auf Keramiksubstraten erreichen lassen. Probleme ergeben sich vor allem bei der Langzeitstabilität, der chemischen Beständigkeit und der Genauigkeit im Bereich hoher und sehr tiefer Feuchtwerte.

Ein weiterer Aspekt ist, dass durch die Komplexität der Fertigungsschritte für den Sensor Schichtenaufbau sich das Fertigungsrisiko erhöht und sich damit die Gesamtausbeute eines Wafers so weit verschlechtert, dass sich die Kosten erhöhen und die wirtschaftliche Fertigung ungünstig wird.



Abb. 1: Ansicht des Sensors im TO 39 Gehäuse

Lösungsansatz

Der daraus resultierende Schluss ist logisch: Ziel sollte es sein, den Polymersensor in bewährter Technik und mit optimalem Schichtenaufbau herzustellen, aber durch innovative Fertigungsverfahren drastisch in der Fläche zu verkleinern.

Ein derart miniaturisierter Sensor wird dann mit einem ebenfalls auf die Anwendung optimiertem ASIC auf einem gemeinsamen Trägersubstrat kombiniert. Die Verbindungstechnik erfolgt

Kalibrierter, präziser Feuchte Sensor mit I²C Schnittstelle

kostengünstig durch Standardtechnologien wie gedruckte Dickschichtsubstrate und Drahtbonden, der Anschluss zum Zielsystem über aufgelötete SIL-Kontaktstreifen oder Standard-TO-Sockel.

Ein derartiger Lösungsansatz bietet für den Anwender den Vorteil einer optimalen Performance über den gesamten Anwendungsbereich – auch an der unteren Bereichsgrenze um 0% rF und bei extrem hoher Feuchte und Betauung.

Als weiterer, positiver Nebeneffekt ergeben sich unterm Strich sogar geringere Herstellungskosten: Dadurch dass vor der Montage der Einzelkomponenten sowohl der ASIC als auch der Sensor und das Trägersubstrat getestet werden können, liegt die Ausbeute des gefügten Mikromoduls bei praktisch 100 %. Ein wesentlicher technologischer Vorteil beim Produktions-Prozess was sich für den Anwender in einem optimalen Preis-Leistungsverhältnis niederschlägt.

Optimiertes Polymer Sensorelement

Im Rahmen der Produktentwicklung konnten die Abmessung des eingesetzten Polymer Sensorelements auf 2 x 2 mm reduziert werden. Das verwendete, moderne Hochleistungs-Polymer auf Polyamid-Basis und der Schichtenaufbau mit der speziell ausgeführten, porösen Deckel-Elektrode wurden vom Design der bisherigen, diskreten Lösungen übernommen. Letztlich wurde damit das Ergebnis erzielt, dass der Sensor in Bezug auf die chemische Beständigkeit, Betauungsresistenz, Langzeitstabilität, Linearität und Hysterese die selben hervorragenden Eigenschaften besitzt, wie die seit Jahren bewährten, bedrahteten Ausführungen.



Abb 2: Entwicklungshistorie und Größenvergleich

Funktionalität des ASICs

Der eingesetzte ASIC leistet die gesamte Signalaufbereitung der physikalischen Größen relative Feuchte und Temperatur bis zu den fertig aufbereiteten Messwerten, die an der I²C kompatiblen Schnittstelle als digitale Werte zur Verfügung stehen.

Die Temperaturmessung erfolgt dabei onchip mit hoher Genauigkeit (besser 0,2 °C) und einer Auflösung von 0,02 K.

Der gesamte Betriebsspannungsbereich von 2,7 V bis 5,5 V wird unterstützt. Der durchschnittliche Stromverbrauch im Standby-Mode beträgt nur 1 µA und bei 1 Hz Messrate ca. 22 µA, wodurch sich der Sensor auch ideal für batteriebetriebene Applikationen eignet.

Der ASIC beinhaltet die internen Baugruppen Cap-Digitalwandler (14 bit), einen Polynom-Signalprozessor, einen Koeffizientenspeicher für die Kalibrierwerte und das digitale I²C-Interface.

Die Feuchtemessung ist ebenfalls hoch genau: Die im ASIC implementierten Korrektur-Algorithmen arbeiten mittels quadratischer Polynome und gewährleisten die rechnerische Korrektur von Offset-, Gain und Linearitätsverhalten, sowie auch der Temperaturdrift. Das Anwendungsfenster ist dadurch extrem weit und reicht von 0 ... 100 % rF im Temperaturbereich -40 ... 125 °C bei einem maximalen Taupunkt von 80°C.

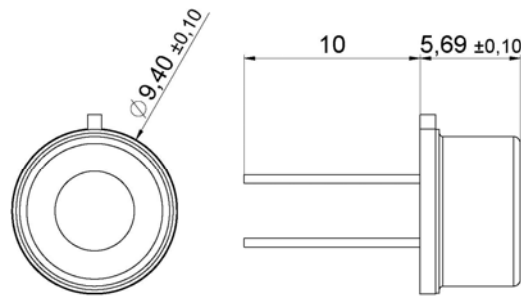


Abb. 3: Abmessungen

Aufbau und Abmessungen

Der ASIC ist mit dem Polymer-Sensorelement zusammen auf einem hochwertigen, mechanisch robusten Dickschicht-Keramikträger mit Abmessungen von 5 x 10 mm montiert. Durch die geringe thermische Masse ergibt sich ein schnelles Ansprechverhalten. Sowohl der Sensor, als auch der ASIC sind gebondet.

Bis auf die aktive Schicht des Sensorelements ist der Aufbau umweltresistent mit glasgefülltem Globetop geschützt. Auf dem Modul sind SMD Kondensatoren integriert, so dass kein weiterer Kondensator zur Entkopplung benötigt wird.

Die verzinneten, lötbaren Anschlusspins im Raster 1,27 mm passen auch zu handelsüblichen Steckverbindungen, so dass der Feuchtesensor als vollständig austauschbare, kalibrierte Funktionsbaugruppe bezeichnet werden kann.

Alle Werkstoffe sind auf minimale Wasseraufnahme minimiert, um das Mikroklima in der Umgebung nicht zu stören. Durch die eingesetzten Materialien wird der Einsatz-Temperaturbereich von -40 ... 125 °C abgedeckt. Alle Materialien sind RoHS-konform.

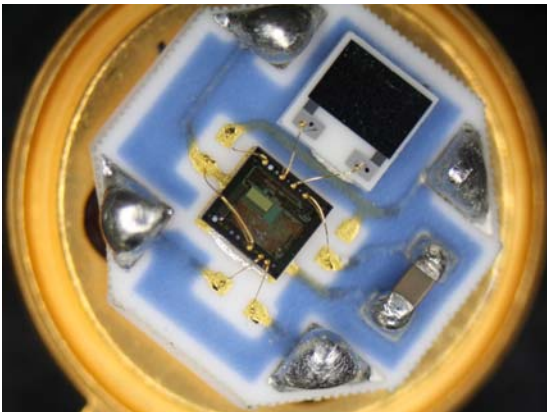


Abb4: Aufbau- und Verbindungstechnik

Kalibrierung

Das Modul wird nach der Herstellung an 9 Feuchte-/Temperaturpunkten präzise kalibriert und temperaturkompensiert. Es ist kein weiterer Abgleich und keine weitere Verrechnung durch den Anwender notwendig. Sowohl der Linearitätsfehler, als auch die Temperaturdrift werden bereits „on Chip“ rechnerisch korrigiert, wodurch sich eine hervorragende Genauigkeit über einen weiten Einsatzbereich ergibt. Die Genauigkeit übertrifft mit $\pm 1,8\%$ rF und $\pm 0,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ (bei $20\text{ }^{\circ}\text{C}$) alle anderen am Markt erhältlichen Wettbewerbsprodukte. Der Einsatzbereich reicht von 0 ... 100 % rF im Temperaturbereich $-40 \dots 125\text{ }^{\circ}\text{C}$.



Abb 5: Kalibrieranlage

Digitale I²C-Schnittstelle

An der I²C kompatiblen Schnittstelle stehen die vollständig aufbereiteten physikalischen Größen relative Feuchte und Temperatur als numerischer, digitaler Wert zur Verfügung. Es ist keine weitere Verrechnung durch die Anwendersoftware notwendig, was hilft, Energie und Systemressourcen einzusparen.

Die digitale Schnittstelle entspricht voll dem I²C-Standard (bis 400 kHz Taktrate) und kann mit anderen am selben Bus angeschlossenen I²C Bausteinen gemeinsam benutzt werden. Zusätzlich zur fest vorgegebenen Adresse kann eine zweite Adresse eingestellt werden. Damit ist der gleichzeitige Betrieb von bis zu 126 Sensoren am selben I²C Bus möglich.

Einsatzbereiche

Das innovative Bauteil ist für nahezu alle anspruchsvollen Anwendungen geeignet, bei denen sich monolithische Ausführungen als ungeeignet erwiesen haben und die bisher den diskreten Polymer-Sensoren vorbehalten sind.

Gebäudeautomation: Das Bauteil deckt den gesamten Feuchtemessbereich von 0 bis 100% rF ab und ist betauungsresistent.

Hausgeräte: Das Bauteil ist auf die üblichen Haushaltschemikalien im Küchen- und Sanitärbereich (Haushaltsreiniger, Haarspray, etc) getestet und ist langzeitstabil.

Trocknungstechnik: Das Hochleistungspolymer hat sich in vielen industriellen Trocknungsprozessen (Tonziegel, Isolationsstoffe, Metallspäne, etc.) bewährt.

Landwirtschaft: Der Sensor wird in landwirtschaftlichen Trocknungsanlagen erfolgreich eingesetzt (Mais, Getreide, Hopfen, Holz). Als Schutz vor Harzaerosolen reicht ein Sinterfilter aus.

Drucklufttechnik: Der Sensor ist in Anlagen bis 16 bar zur Messung des Drucktaupunkts (Kälte- und Membrantrockner) getestet.

Medizintechnik: Der Sensor ist bis $130\text{ }^{\circ}\text{C}$ und 2 bar sterilisierbar ohne durch eine derart harte Behandlung zu driften oder auszufallen.

Projektspezifische Optionen

Der ASIC besitzt weitere Leistungsmerkmale, die als kundenspezifische Ausführung (OEM) bereit gestellt werden können:

- statt des digitalen I²C-Interface ist auch ein SPI-Interface möglich. In diesem Fall erfolgt der Anschluss über 5 Pins.
- Der ASIC unterstützt zusätzlich auch zwei quasi analoge PDM-Ausgänge für Temperatur- und relative Feuchte. Damit ist eine quasi analoge Ausgabe der Messwerte möglich.
- Zwei optionale Schaltausgänge ermöglichen darüber hinaus den Einsatz als Festpunkt-Hygrostat. Ein Minimal- und Maximalwert können unabhängig als schaltender Ausgang überwacht werden.



Abb 6: Ausführungen im Fühlergehäuse



Kosten-Nutzen Optimierung

Durch Anpassung der qualitativen Anforderungen an die Applikation und größere Fertigungsnutzen lassen sich bei hohen Stückzahlen wesentliche Einsparungspotentiale realisieren. Besonders preisgünstige Lösungen lassen sich auf FR4 Substraten herstellen.

Darüber hinaus können die Geometrie und mechanischen Abmessungen des Moduls an die Kundenanforderungen angepasst werden. Auch Ausführungen im Gehäuse und mit Anschlussleitungen können im Rahmen von Kundenprojekten entwickelt und hergestellt werden, bis hin zum vollständigen Feuchtefühler mit Anschlussleitung.

Weitere Kostenoptimierung ergibt sich durch Reduzierung der verwendeten Kalibrierpunkte bei alternativer Einbeziehung von statistischen Verfahren. Unter bestimmten Voraussetzungen ist sogar ein Abgleich an nur einem Feuchte-Temperatur-Punkt möglich, womit sich eine wesentliche kürzere Kalibrierzeit und damit eine deutliche Kostenreduktion ergibt.

Fazit

Der HYT 939 vereinigt die Vorzüge eines präzisen, kapazitiven Feuchtesensors mit der hohen Integrationsdichte und Funktionalität eines ASICs.

Der Sensor ist kalibriert und liefert die aufbereiteten Messwerte für Temperatur und relative Feuchte, was die Integration in Systeme extrem vereinfacht.

Gegenüber monolithischen Lösungen bietet das Hochleistungs-Polymer des HYT 939 eine hervorragende chemische Resistenz und eine exzellente Langzeitstabilität, selbst in kritischen Einsatzgebieten und bei hoher Feuchte. Der Sensor ist betauungsresistent.

Das busfähige Interface entspricht voll dem I²C Standard bis 400 kHz Taktfrequenz. Durch Adressierung können bis zu 126 Sensoren parallel am selben Bus betrieben werden.

Durch den weiten Betriebsspannungsbereich und den geringen Stromverbrauch ist das Bauteil ideal für batteriebetriebene Anwendungen geeignet.

Im Rahmen kundenspezifischer Projekte lassen sich Produktmerkmale an die Anwendung anpassen und die Systemkosten weiter optimieren.

Zum Autor



Martin Friedrich ist seit über 20 Jahren auf dem Gebiet der industriellen Messtechnik tätig. Spezialgebiet sind die Entwicklung physikalischer und mathematischer Verfahren und Algorithmen zur Feuchtemessung.