

TCS208F

TCS208F3

Wärmeleitfähigkeits- sensor für Gase

Abb.1 Sensor mit Sockel

1. Merkmale

- Wärmeleitfähigkeits-Sensor für Gase in **Silizium-Mikromechanik**-Ausführung
- Minimale Leistungsaufnahme, **niedrige Temperaturen**
- Sehr **kleine Abmessungen**, kurze Zeitkonstanten
- Messung an **kleinsten Gasvolumina**
- **Keine Strömungsabhängigkeit**, Gasaustausch durch Diffusion
- Integrierte Widerstände zur Temperaturkompensation
- Aufbau auf TO8-Sockel, **stoßfest**

2. Anwendungen

Bestimmung von Gaskonzentrationen durch Messung der Wärmeleitfähigkeit. **Überwachung von Gaseigenschaften**, die mit Änderungen der Wärmeleitfähigkeit einhergehen, z.B.:

- Unterscheidung von Erdgasen verschiedener Herkunft und Zusammensetzung.
- Bestimmung des **CO₂**- und **Methan**-Anteils in Deponie- oder Klärgas,
- Messung des **Helium**- oder **Xenon**-Gehaltes in Mischungen dieser Gase mit Luft.

Zur Anwendbarkeit dieser speziellen Gasanalysemethode im Einzelfall wird auf die einschlägige Literatur verwiesen.

3. Beschreibung

Das Sensorelement besteht aus einem Siliziumchip mit einer ca. 1mm² großen, dünnen Membran aus elektrisch und thermisch gut isolierendem Material (s. Abb. 2). Auf der Membran sind zwei Dünnschicht-Widerstandsmäander (R_{m1} , R_{m2}) aufgebracht, die sowohl zum Aufheizen der Membran, als auch zum Messen der Temperatur T_m dienen. Widerstände und Leiterbahnen sind durch Passivierung vor Einflüssen des Gases geschützt.

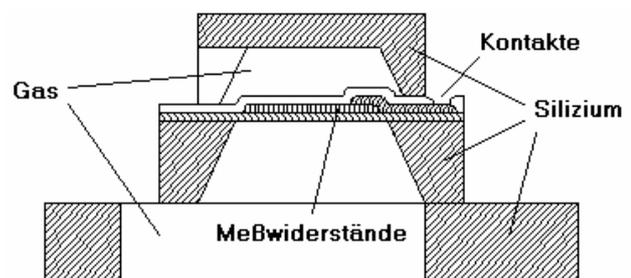


Abb.2 Querschnitt durch den Sensor

Die Membran wird durch einen zweiten kleinen Silizium-Chip mit einer eingetätzten rechteckigen Vertiefung vollständig überdeckt. Der so entstandene Hohlraum über der Membran bildet die Wärmeleitstrecke. Durch eine kleine seitliche Öffnung in der Membranabdeckung gelangt das Gas nur durch Diffusion, nicht aber durch Strömung, zur Meßstrecke .

Der Sensor-Chip mit Abdeckung ist auf einen Träger aus Silizium aufgesetzt, welcher den Austausch des Gases auch auf der Unterseite der Membran zuläßt. Der Sensor ist durch Golddraht-Bonden auf einem achtpoligen Sockel (ähnl. TO8) elektrisch kontaktiert.

Auf Grund der Wärmeleitfähigkeit λ des die Membran umgebenden Gases wird thermische Energie von der Membran mit deren höherer Temperatur T_m abgeführt. Als Meßeffect wird in einer Schaltung zur Temperaturstabilisierung das elektrische Signal genutzt, das notwendig ist, um die Übertemperatur ΔT der Membran konstant zu halten.

Zur Messung und Kompensation des Einflusses der Umgebungstemperatur ϑ befinden sich auf dem massiven Teil des Chips zwei weitere Widerstände (R_{t1} , R_{t2}).

4. Technische Daten (Meßgas: trockenes N_2 bei $\vartheta=25^\circ C$ und $\Delta T=50^\circ C$, wo nicht abweichend genannt)

4.1 Absolute Grenzdaten:

	min.	typ.	max.	units
Heizleistung $P(R_{m1}+R_{m2})$	---	---	30	mW
Membrantemperatur T_m	---	---	180	$^\circ C$
Umgebungstemperatur ϑ	-20	---	+85	$^\circ C$
Gasdruck auf Sockel (1)	---	---	200	bar

Warnung: Auf Grund der kurzen thermischen Zeitkonstante der Membran kann bereits eine kurzzeitig überhöhte Heizleistung zur Zerstörung des Sensors führen

4.2 Nenndaten:

	min.	typ.	max.	Einheiten
Widerstände, R_{m1} , R_{m2} (bei $T_m = 25^\circ C$)	92	100	115	Ω
Widerstände, R_{t1} , R_{t2}	220	240	275	Ω
Quotient $R_{tx} / (R_{m1}+R_{m2}) \mid x \in \{1,2\}$	1.13	1.2	1.27	1
Widerstandsdifferenz $R_{m1} - R_{m2}$	-2.0	---	+2.0	Ω
α = Temperaturkoeffizient (R_m , R_t) $\mid 20 - 100^\circ C$	4.8 (2)	5.5	5.9	$10^{-3} \cdot K^{-1}$
G = Geometriefaktor (3)	---	3.6	---	mm
τ_m = thermische Zeitkonstante der Membran	---	< 5	---	ms
$\tau_{diffusion}$ = Zeitkonstante für Gasaustausch	---	< 100	---	ms
Drift (R_{xy}) $\mid x \in \{m,t\}$; $y \in \{1,2\}$	---	0.001	0.01	% / Woche
Volumen der Diffusionskammerstruktur	---	0.2	---	mm^3
Freizuhaltendes Umgebungsvolumen (s. Abb.5)	---	100	---	mm^3

Grundmaterial

Silizium, mikrostrukturiert durch anisotropies Ätzen

Abmessungen des Sensors: ohne Sockel
(s. Abb.5) mit Sockel

ca. 3mm \times 3mm \times 1mm
ca. 13mm \varnothing \times 15.4mm

Material gasführende Teile:

Si, SiO_xN_y , Gold, Epoxidharz

Bemerkungen:

- (1) Druckdaten gemäß Angaben des Vorlieferanten für in geeigneter Weise abgestützte Teile.
- (2) min. Wert von α für Kompatibilität mit alternativer Lieferquelle mit reduzierten Spezifikationen.
Das Produkt wird laufend verbessert, um näher an die Werte nach DIN 43760 zu kommen.
- (3) Der Faktor G wird durch die interne Sensorgeometrie bestimmt.

Mechanische Belastungstests wurden an Mustern durchgeführt für
Vibration: in Übereinstimmung mit IEC 68-2-6 Appendix B (1982) 10 Zyklen; $\pm 1.5\text{mm}$;
20g; 10..2000Hz; 1Octave/min und für
Stoß: in Übereinstimmung mit IEC 68-2-27 Amendment #1 (Oct.82) je 10 Schocks
 radial und axial; 100g; 7.5ms / 300g; 2.5ms / **900g**; 1.2ms

4.3 Empfohlene Betriebsbedingungen:	min.	typ.	max.	Einheiten
Heizleistung $P(R_{m1}+R_{m2})$	---	---	5	mW
Membranübertemperatur $\Delta T = T_m - \vartheta$	(30)	50	70	$^{\circ}\text{C}$

Das Minimum für ΔT in einer gegebenen Anwendung wird bestimmt durch die notwendige Auflösung der Wärmeleitfähigkeit λ verglichen mit dem Rauschen des verwendeten Verstärkers. Niedriges ΔT ist hinsichtlich der Linearität, niedriger Drift und besserer Langzeitstabilität anzustreben.

5. Hinweise zum Gebrauch des Sensors

5.1 Betrieb des Sensors

Die vier Widerstände R_{m1} , R_{m2} , R_{t1} and R_{t2} des Sensors TCS208F sind einzeln mit den acht An-

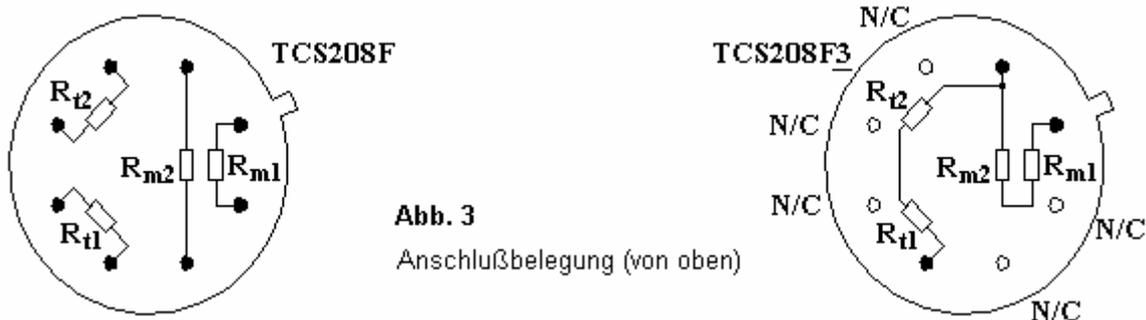


Abb. 3
Anschlußbelegung (von oben)

schlüssen des TO8-Sockels kontaktiert. Beim TCS20F3 sind R_{m1} und R_{m2} sowie R_{t1} und R_{t2} jeweils in Reihe geschaltet. Abb. 3 zeigt die Anschlußbelegung mit Sicht auf die Sensorseite. Für den Betrieb des Sensors ist es zweckmäßig, den beiden Membranwiderständen R_{m1} und R_{m2} etwa gleiche Heizleistung zuzuführen, um Temperaturgradienten auf der Heizfläche zu vermeiden. Die zur Temperaturmessung in den Widerständen R_{t1} und R_{t2} umgesetzte Leistung sollte nicht höher sein als die in den Membranwiderständen R_{m1} und R_{m2} um den Sensorchip nicht aufzuheizen.

5.2 Einfluß der Umgebungstemperatur

Bei vorgegebener Heizleistung in den Membranwiderständen stellt sich eine Übertemperatur ΔT der Membran gegenüber dem massiven Teil des Sensor-Chips ein, die nur geringfügig (typ. $10^{-3}/^{\circ}\text{C}$) über den Temperaturkoeffizienten der Wärmeleitfähigkeit der Gase, von der absoluten Umgebungstemperatur abhängt. Der absolute Wert der Widerstände ändert sich mit der Umgebungstemperatur jedoch genauso wie durch die Änderung der Wärmeleitfähigkeit. Es muß deshalb im allgemeine eine entsprechende Kompensation vorgenommen werden.

5.3 Empfohlene Applikationsschaltungen

Im folgenden werden drei Applikationsschaltungen beschrieben. Die erste benutzt eine konstante Membranübertemperatur und ist relativ sicher gegen schnelle Änderungen der Wärmeleitfähigkeit über einen weiten Bereich. Die Membran wird jedoch durch jede auch nur kurzzeitige Unterbrechung der Anschlüsse von R_t zerstört. Außerdem muß das Einschwingverhalten kontrolliert werden. Die an-

deren beiden Schaltkreise nutzen einen konstanten Membranstrom (bzw. eine konstante Spannung mit einem großen Vorwiderstand). In allen Fällen ist die Membran-Übertemperatur ΔT :

$$(Gl. 1) \quad \Delta T = \frac{1 + \alpha \cdot \vartheta}{\frac{G \cdot \lambda}{i_m^2 \cdot R_m} - \alpha}$$

5.3.1 Betrieb mit konstanter Membran-Übertemperatur

Abb.4a zeigt eine temperaturkompensierte Anwendungsschaltung zum Betrieb des Sensors mit konstanter Membran-Übertemperatur ($\Delta T = \text{const.}$). Die beiden Heiz-/Meß-Membranwiderstände R_{m1} und R_{m2} liegen in Reihe in der Verbindung zwischen den beiden Operationsverstärkern. Einer der beiden Widerstände zur Messung der Umgebungstemperatur (R_{t1}) bildet die negative Rückkopplung des ersten Operationsverstärkers. Die beiden Verstärker bilden eine positive Rückkopplungsschleife. Diese kommt in einen stabilen Zustand mit einer Schleifenverstärkung von eins in Abhängigkeit von den nichtlinearen Funktionen von Strom und Spannung an $R_m (= R_{m1} + R_{m2})$ und $R_t (= R_{t1})$, die ihrerseits von Temperatur und Wärmeleitfähigkeit λ des Gases im Sensor abhängen. Die Membran-Übertemperatur ΔT wird durch den Quotienten R_1 / R_2 entsprechend folgender Gleichung bestimmt:

$$(Gl. 2) \quad \frac{R_1}{R_2} = \frac{R_{t1}}{(R_{m1} + R_{m2}) \cdot (1 + \alpha \cdot \Delta T)}$$

Durch elektronisches Berechnen des Quotienten $(R_{m1} + R_{m2}) / R_{t1}$ innerhalb der Schleife ist das Signal temperaturkompensiert (1. Ordnung). Eine zusätzliche Temperaturkompensation kann extern durch R_{t2} erfolgen. Die Diode bestimmt die Polarität der Ausgangsspannung U_1 . Deren Höhe wird bestimmt durch:

$$(Gl. 3) \quad U_1^2 = \frac{G \cdot \lambda}{\alpha} \cdot \frac{R_{t1} \cdot R_2^2 - (R_{m1} + R_{m2}) \cdot R_1 \cdot R_2}{(R_{m1} + R_{m2}) \cdot R_{t1}}$$

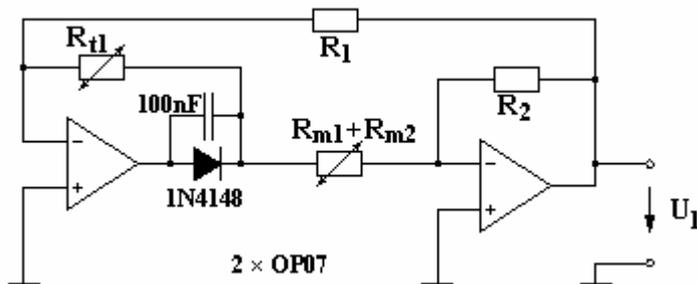


Abb.4a Anwendungsschaltung für Betrieb mit konstanter Membran-Übertemperatur

Beispiel für die Dimensionierung dieser Anwendungsschaltung:

Bedingungen: $\Delta T = 36.4 \text{ K}$; $U_1 = 5.8 \text{ V}$ for $\lambda(\text{N}_2) = 0.0275 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ (bei 50°C)

Ergebnisse: $R_1 / R_2 = 1.00$; $R_2 = 1.5 \text{ k}\Omega$; $R_1 = 1.5 \text{ k}\Omega$

Empfindlichkeit: 1% He in N_2 erhöht U_1 um ca. 140 mV

5.3.2 Betrieb mit konstantem Membranstrom

Abb.4b zeigt eine Anwendungsschaltung mit Temperaturkompensation 2. Ordnung für den Sensorbetrieb mit konstantem Membranstrom ($i_m = \text{const.}$). Die beiden Heiz-/Meß-Membranwiderstände R_{m1} und R_{m2} liegen in Reihe in der Rückkopplung des ersten Operationsverstärkers. Eine temperaturkompensierte negative Referenzspannung $-U_{\text{ref}}$ schickt einen konstanten Strom durch R_1 . Der gleiche Strom fließt durch die Membranwiderstände. Die Widerstände zur Messung der Umgebungstemperatur R_{t1} in Reihe mit R_{t2} zwischen den beiden Operationsverstärkern bewirken die Temperaturkompensation erster Ordnung.

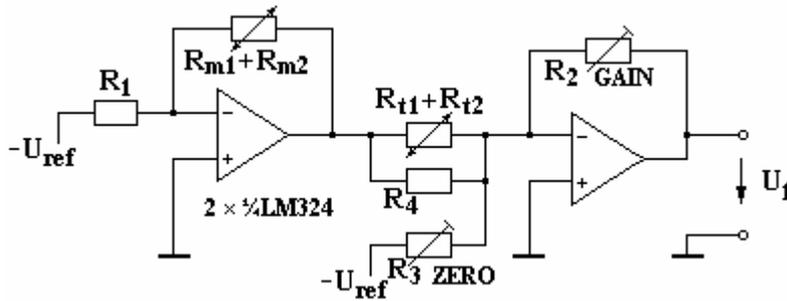


Abb.4b Anwendungsschaltung für Betrieb mit konstantem Membranstrom

Nullpunkt und Verstärkung werden mit den Trimmwiderständen R_2 und R_3 der zweiten Stufe eingestellt. Durch Verringern der Temperaturabhängigkeit in der Kopplung zwischen den beiden Stufen bringt R_4 eine Temperaturkompensation 2. Ordnung. Der Wert für R_4 muß entsprechend der zu messenden Gase gewählt werden. Typische Auslegung dieser Schaltung (i_m ca. 4mA; nicht für Gase, deren Wärmeleitfähigkeit unter der von CO_2 liegt): $U_{\text{ref}} = 6.2 \text{ V}$; $R_1 = 1.5 \text{ k}\Omega$; $R_4 = 7.5 \text{ k}\Omega$ für N_2 ; $R_2 = 50 \text{ k}\Omega$; $R_3 = 10 \text{ k}\Omega$ (grob) in Reihe mit 100Ω (fein); alle Trimmwiderstände Metallkeramik linear, mehrgängig (z.B. Bourns® oder Spectrol®)

5.3.3 Betrieb in einer Wheatstone-Brücke

Abb.4c zeigt eine Anwendungsschaltung, die zusammen mit einem Verstärker für Dehnungsmeßstreifen verwendet wird. Sie betreibt den Sensor in einer Wheatstonebrücke. Durch den verhältnismäßig großen Widerstand R_1 sind ihre Eigenschaften dem oben beschriebenen Konstantstrombetrieb sehr ähnlich. Beide Membranwiderstände in Reihe teilen die Brückenspannung zusammen mit R_1 . Die Temperaturmeßwiderstände R_{t1} in Reihe mit R_{t2} liegen im anderen Brückenweig zur Temperaturkompensation 1. Ordnung. Durch Abgleich der Brücke mit dem Trimmwiderstand R_3 wird der Nullpunkt eingestellt, durch eine ohmsche Last in der Diagonalen mit R_5 die Empfindlichkeit angepaßt. Der Festwiderstand R_4 bringt eine Temperaturkompensation 2. Ordnung, indem er die Temperaturempfindlichkeit der rechten Halbbrücke verringert. Auch hier muß R_4 entsprechend der zu messenden Gase gewählt werden.

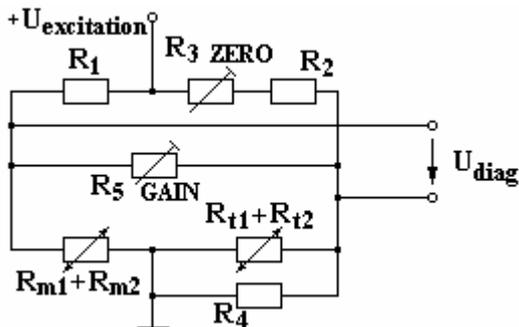


Abb.4c Anwendungsschaltung für Wheatstonebrücken-Betrieb

Typische Auslegung dieser Schaltung (i_m ca. 4mA; nicht für Gase, deren Wärmeleitfähigkeit unter der von CO_2 liegt): $U_{\text{excitation}} = 10 \text{ V}$; $R_1 = 2.7 \text{ k}\Omega$; $R_4 = 7.5 \text{ k}\Omega$ für N_2 ; $R_2 = 4.7 \text{ k}\Omega$; $R_3 = 2 \text{ k}\Omega$; $R_5 = 10 \text{ k}\Omega$; alle Trimmwiderstände Metallkeramik linear, mehrgängig (z.B. Bourns® oder Spectrol®)

Die Diagonalspannung U_{diag} kann als Eingangsspannung für ein handelsübliches Dehnungsmeßstreifen-Anzeigeinstrument dienen (z.B. ATC Digitec® Indicator Model 3241 oder Red Lion Controls® PAX-S), diese liefern dann auch stabilisierte 10V für die Brücken-Versorgungsspannung $U_{\text{excitation}}$.

5.4 Bestimmung der Gaskonzentration

Die Wärmeleitfähigkeit eines Gasmisches ist abhängig von der Art der einzelnen Gaskomponenten und von deren Anteil am Gemisch. Durch Messung der Wärmeleitfähigkeit ist deshalb unter bestimmten Bedingungen eine Bestimmung der Konzentrationen der einzelnen Gaskomponenten möglich.

Die Konzentration kann um so genauer bestimmt werden, je besser eine der folgenden Bedingungen erfüllt ist.

- Das Gasgemisch besteht aus nur zwei Komponenten, z.B. Messung von CO₂ in N₂, O₂ in N₂.
- Das Gasgemisch besteht aus mehr als zwei Komponenten, aber nur bei zwei Komponenten ändert sich der Anteil.
- Das Gasgemisch besteht aus mehr als zwei Komponenten, aber die interessierende Komponente hat eine von den anderen Gasen stark unterschiedliche Wärmeleitfähigkeit (quasi-binäre Gemische), z.B. H₂, He, oder CO₂ in Luft.

Auch Gaskonzentrationen in echten ternären Gasgemischen können ermittelt werden, wenn zusätzlich zur Wärmeleitfähigkeit selbst auch ihr Temperaturkoeffizient ermittelt wird. Durch die geringe Masse der Heiz- und Meßwiderstände des Wärmeleitfähigkeitssensors kann die einfach durch Modulation der Heizleistung geschehen oder alternativ dadurch, daß zwei Sensoren mit unterschiedlichen Membrantemperaturen betrieben werden. Die Wärmeleitfähigkeit kann dann bei zwei unterschiedlichen Gastemperaturen gemessen werden. Hieraus werden die Gaskonzentrationen berechnet.

6. Abmessungen

Abb.5 zeigt die Abmessungen des Sensors mit seinem Sockel. Zu jeder Zeit ist ein zylindrisches Volumen von 8mm Ø und 2mm Dicke oberhalb der Sockeloberfläche frei zu halten.

Warnung: Berühren der Sensoroberfläche beschädigt die Bonddrähte und macht den Sensor unbrauchbar.

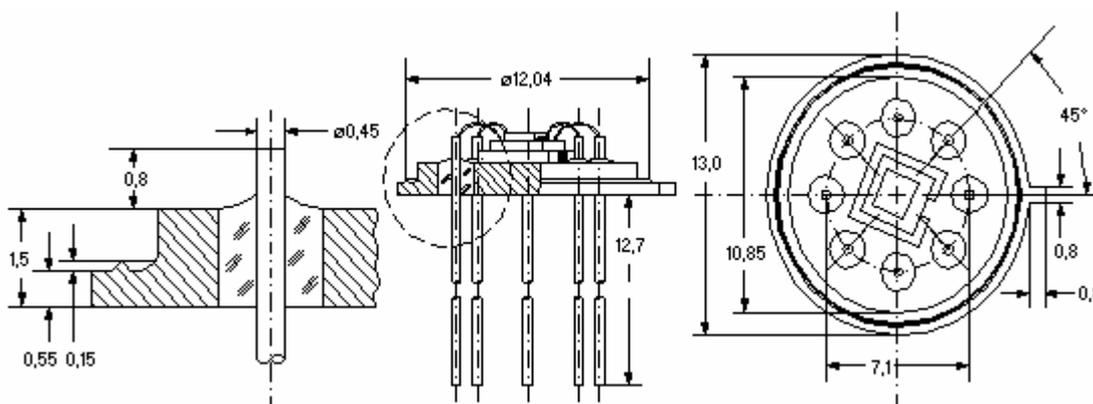


Abb.5 Abmessungen

7. Bestell- und Preisinformation:

Bestelltext: "Wärmeleitfähigkeitssensor TCS208F" oder "Wärmeleitfähigkeitssensor TCS208F3" für optionale 3-pin-Version

Menge pro Lieferung	Verpackungen für je 6 Stück	TCS208F EUR	TCS208F3 EUR	Die genannten Zahlen sind Hinweise auf Nettolistenpreise in Euro, gültig zum Zeitpunkt der Erstellung. Verpackung, Fracht und Steuer kämen noch je nach Anwendbarkeit hinzu.
1 - 5	1	86,41	91,01	Diese Produktinformation selbst ist noch kein Angebot. Um ein vollständiges Angebot zu erhalten, fragen Sie bitte unter der auf der letzten Seite genannten Adresse an. Verpackungen für je 6 Sensoren werden zu je EUR 2,56 in Rechnung gestellt, zurückgesandte Verpackungen in voller Höhe gutgeschrieben.
6 - 42	1 - 7	77,72	82,32	
48 - 198	8 - 33	70,56	75,16	
204+	34+	67,49	72,09	

Diese Produktinformation selbst ist noch kein Angebot. Um ein vollständiges Angebot zu erhalten, fragen Sie bitte unter der auf der letzten Seite genannten Adresse an. Verpackungen für je 6 Sensoren werden zu je EUR 2,56 in Rechnung gestellt, zurückgesandte Verpackungen in voller Höhe gutgeschrieben.

(Mechanisch geschützte Aufnehmerköpfe mit Rohrgewinde bis zu 160 bar Nenndruck sind verfügbar, desgleichen Meßgeräte, die diese Art von Sensor einsetzen – Datenblätter auf Anfrage)

Hinweise:**Sicherheitshinweise**

Ohne weitergehende Prüfung und Zertifizierung, die gesamthaft in der Verantwortung des Benutzers liegen, darf dieser Sensor nicht mit explosiven Gasgemischen beaufschlagt werden oder an Orten betrieben werden, wo solche Gasgemische auftreten können. Für Messungen mit toxischen oder brennbaren Gasen muß jedes Gerät, in dem dieser Sensor zum Einsatz kommt, durch den Anwender vorher auf Dichtigkeit geprüft werden. Anschluß und Inbetriebnahme eines solchen Gerätes darf nur durch ausgebildetes und zu Arbeiten mit den betreffenden Gasen und den zugehörigen Anlagen berechtigtes Personal erfolgen. Beim Anschluß an Gasleitungen sind die einschlägigen Vorschriften und Richtlinien der jeweils zuständigen Zulassungsinstitutionen und die Vorschriften der Gasversorgungsunternehmen zu beachten.

Hinweise zur Dokumentation und zu Lizenzfragen

Diese Produktinformation wurde mit Sorgfalt erstellt. Der Anbieter kann jedoch für eventuelle Fehler in dieser Dokumentation und deren Konsequenzen keine Haftung übernehmen. Dem Fortschritt dienende technische Änderungen bleiben vorbehalten. Der Inhalt dieser Dokumentation ist nicht frei von Schutzrechten oder Schutzrechtsansprüchen des Herstellers, des Anbieters oder Dritter. Einige der möglichen Anwendungen sind mit Verfahrensschutzrechten Dritter belegt (z.B. U.S. Patente 4,902,138; 5,333,591; und andere U.S. und internationale Patente). Die Übergabe dieser Produktinformation oder die Auslieferung des Produktes begründen keine Lizenz. Alle Rechte vorbehalten.

Eingeschränkte Gewährleistung

Sofern sie sachgemäß gelagert, gehandhabt, installiert und betrieben wurden, gewährleistet der Anbieter innerhalb einer Frist von sechs Monaten nach Lieferung, daß die Produkte aus seiner Fertigung frei von Verarbeitungs- und Materialfehlern sind. Die Haftung des Anbieters unter dieser eingeschränkten Gewährleistung beschränkt sich auf Instandsetzung oder den Ersatz des defekten Produktes - nach seiner Wahl. Insbesondere ist jedwede Haftung des Anbieters für Folgeschäden an Personen oder Wirtschaftsgütern, entgangenen Gewinn oder ähnliches ausdrücklich ausgeschlossen. Der Käufer stimmt zu, den Anbieter von allen weitergehenden Forderungen freizustellen und ihm ggf. die Kosten der Abwehr solcher weitergehenden Forderungen zu erstatten. Zwischen Käufer und Anbieter wird weder ausdrücklich noch implizit eine über diese eingeschränkte Gewährleistung hinausgehende Vereinbarung getroffen. Der Käufer erkennt ausdrücklich die hierin enthaltenen juristischen und technischen Einschränkungen an und wird sich auf keine weitergehenden Gewährleistungen oder Zusicherungen berufen.

Veränderungen ggü. ursprünglicher Produktinformation (TCS208) vom 04.09.96

- Niedrigere Bondpfosten (0.8mm statt 1.2mm), um in kleineren Kundenaufbau zu passen (...F' für ,flach') aber: der benötigte Sicherheitsabstand in Kap. 6 wurde nicht verändert (2mm x ø 8mm)
- Reduzierte maximale empfohlene Betriebstemperatur (70°C statt 80°C) für verbesserte Langzeitstabilität
- Modifizierte Pinbelegung der optionalen 3-pin-Version TCS208F3
- Zusätzliche Applikationsschaltungen für Konstantstrom- und Wheatstonebrücken-Betrieb
- Formeln (Gl.2, vorher Gl.1) korrigiert
- Preisinformation hinzugefügt
- Änderung des H&B-Firmennamens in den Hinweisen
- Ursprungsland in den Hinweisen ergänzt

Änderungsvermerke

- 010199: Euro Preise in Kap. 7 und kleinere Umformatierungen
- 150499: U.K. und e-Mail Adressen hinzugefügt
- 060600: Umstellung von MS Write auf MS Word 97, teilweise umformatiert, PAX-S Instrument ergänzt, F3 Anschlußbelegung korrigiert, Übergang von H&B auf ABB in den Hinweisen, neue Telefonnr. In U.K., Mobiltelefon
- 200503: DEM-Preise entfernt U.K. Adresse gestrichen , neue Telefonnummer und e-Mail-Adresse
- 110404: Hinweise auf Lizenzgeber entfallen, dt. Übersetzung neu (TCM208dt.doc)

Änderungen vorbehalten

Gerhard R. Wagner

Dipl.-Ing., M.Sc.

Kaiserstrasse 70

D-61169 Friedberg/H.

Fax +49-6031/7505

e-mail: grwsensors@T-online.de

Tel: +49-6031/166534

Mobil Tel: +49-170-4753925