

Neuartiger optischer Taupunktsensor

Torsten Wieduwilt*, Günter Schwotzer*, Alfred Böhm**

*Institut für Photonische Technologien e.V., Jena

**BARTEC Systeme und Komponenten GmbH, Gotteszell

<mailto:torsten.wieduwilt@ipht-jena.de>

Es wird ein neuartiger optischer Taupunktsensor vorgestellt, bei dem das Messlicht über Totalreflexion in einem Glassubstrat geführt wird und der Reflexionsgrad sich bei Betauung der Oberfläche mit Wassertröpfchen ändert. Dieses Prinzip ist weitgehend unempfindlich gegenüber Schmutzpartikel auf der Sensoroberfläche.

1 Einführung

Mit der Messung der Taupunkttemperatur erhält man über die Dampfdruckkurve ein direktes Maß für den Wasserdampfpartialdruck, sowie mittels der Gasgleichung ein direktes Maß für den Wasserdampfgehalt in einem Gas (absolute Feuchte).

Üblicherweise wird bei optischen Taupunktsensoren ein Spiegel mit einer Lichtquelle (LED) bestrahlt und die reflektierte Intensität gemessen. Als Spiegel werden meist polierte Edelstahl- oder wegen der besseren Wärmeleitfähigkeit mit Platin verspiegelte Kupferkörper eingesetzt. Durch Abkühlung der Spiegeloberfläche unter die Taupunkttemperatur mittels eines am Spiegelkörper angeordneten Peltierelementes, kondensiert Feuchtigkeit aus der Umgebung als Tröpfchen oder Eiskristalle. Dadurch wird Licht gestreut und als Signaländerung mit einem Detektor (z.B. Photodiode) registriert. Der Taupunkt kann definitionsgemäß bestimmt werden, indem anhand des Detektorsignals über den Peltierstrom die Temperatur auf der Spiegeloberfläche auf den Wert geregelt wird, bei dem Kondensations- und Verdampfungsrate der Wassermoleküle sich die Waage halten. Die Temperatur wird meist mit Pt-Widerstandsthermometern, welche in der Nähe der Spiegelfläche eingebettet sind, gemessen.

Ein Nachteil dieses Prinzips ist, dass Schmutzpartikel (z.B. Staub) auf der Spiegeloberfläche ebenfalls Streulichtänderungen hervorrufen und folglich die Taupunktmessung beeinflussen. Reinigungen der Spiegeloberfläche in gewissen Zeitabständen sind unumgänglich.

Darüber hinaus ist dieser Sensoraufbau ungeeignet für eine Produktion in großen Stückzahlen, welches ein Ziel des hier vorgestellten Sensors war.

2 Neuartiges Sensorprinzip

Um den Einfluss von Schmutzpartikeln auf die optische Taupunktmessung zu vermeiden, wurde eine Anordnung gewählt, bei der das Licht nicht

mehr durch das Messgas auf die Betauungsoberfläche gelangt, sondern über mehrfache Totalreflexion in einem Glassubstrat geführt wird. Im unbetauten Zustand der Glasoberfläche wird das Licht verlustarm zu einer Photodiode geleitet. Tritt bei Abkühlung der Glassubstratoberfläche mittels eines darunter angeordneten Peltierelementes Tröpfchen- oder Eiskristallbildung ein, so kommt es zur Auskopplung des geführten Lichtes (*Prinzip der gestörten Totalreflexion*, s. Abb. 1) und damit zur Abnahme des Photostromes.

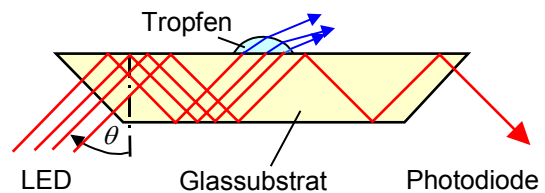


Abb. 1 Sensorprinzip (schematisch)

Der in Abb. 1 dargestellte Einkoppelwinkel θ ist hierbei so zu wählen, dass die Lichtführung nur im unbetauten und nicht im betauten Zustand erfüllt ist. Für die Brechzahlen $n_{\text{Glas}}=1,465$ (Borofloat®) und $n_{\text{Wasser}}=1,329$, bei einer Wellenlänge von 875 nm, lautet die Bedingung $43,1^\circ < \theta < 65,1^\circ$.

Eine wesentliche Voraussetzung für dieses Messprinzip ist, dass die Kondensation für dieses Messprinzip in Form von Tröpfchen und nicht als Wasserfilm erfolgt. Die Ausbildung eines Films würde bewirken, dass alle Strahlen mit $\theta > 43,1^\circ$ an der Grenzfläche Wasser/Luft totalreflektiert werden, wieder in das Glassubstrat eintreten und zum Detektor gelangen.

Berechnungen der Auskoppel-effizienz mit Wassertröpfchen auf einer Glasoberfläche in Abhängigkeit von Benetzungs- und Einkoppelwinkeln mit der ray-trace software ASAP® zeigten, dass sich mit abnehmendem Benetzungswinkel der ausgekoppelte Strahlungsanteil stetig verringert. Die Verringerung ist um so stärker, je größer der Einfallswinkel ist – bzw. je flacher die Strahlen auf die Grenzfläche Wasser/Luft treffen. Um größtmögliche

Lichtauskopplung zu erreichen, ist es deshalb vorteilhaft, wenn die Tröpfchen einen großen Benetzungswinkel $\leq 90^\circ$ besitzen.

3 Sensoraufbau

Mit Rücksicht auf eine kostengünstige Fertigung wurde bei der Entwicklung des Sensors auf strahlformende und -umlenkende Elemente verzichtet (s. Abb. 2). Bei der Auswahl von Materialien und Bauelementen wurde auf preiswerte Standardprodukte (LED, Photodiode, Peltierelement, Borofloatglas) und Standardtechnologien orientiert.

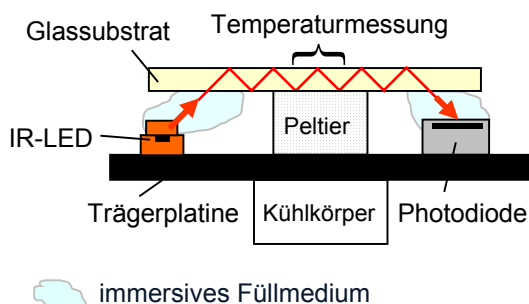


Abb. 2 Sensoraufbau (schematisch)

Um eine Lichtführung im Glassubstrat zu erreichen ist, wie in Abbildung 2 dargestellt, eine immersive Kopplung zwischen LED bzw. Photodiode und dem Glassubstrat notwendig. Hierzu wurde ein transparenter Silikonkautschuk verwendet.

Der Öffnungswinkel der von der LED in das Glassubstrat eintretenden Strahlen ist so zu begrenzen, dass die Bedingung für den Einkoppelwinkel $43,1^\circ < \theta < 65,1^\circ$ eingehalten wird. Um eine möglichst große Auskoppel-effizienz an den Tröpfchen zu erreichen, ist ein Einkoppelwinkel nahe $43,1^\circ$ ideal. Deshalb wurde die Unterseite des Glassubstrates metallisiert und auf der Seite der LED mit einer Blende versehen.

Neben dem optischen Detektionsprinzip war die Temperaturmessung ein wesentlicher Bestandteil der Sensorentwicklung. Im Vergleich zu den üblicherweise verwendeten verspiegelten Kupferkörpern kommerzieller Taupunktspiegel, ist der hier verwendete Glaschip ein schlechter Wärmeleiter. Deshalb sollte die Temperatur unmittelbar auf der Sensoroberfläche innerhalb des optisch wirksamen Betauungsbereichs gemessen werden. Hierzu wurde eine dünne Pt-Struktur als Widerstandsthermometer ($R = 1000 \Omega$) auf der Oberseite des Glassubstrates aufgebracht. Zur elektrischen Kontaktierung wurde die Pt-Schicht im Randbereich mit Kupfer beschichtet. Eine SiC-Schicht schützt das Pt-Widerstandsthermometer vor Feuchtigkeit (s. Abb. 3).

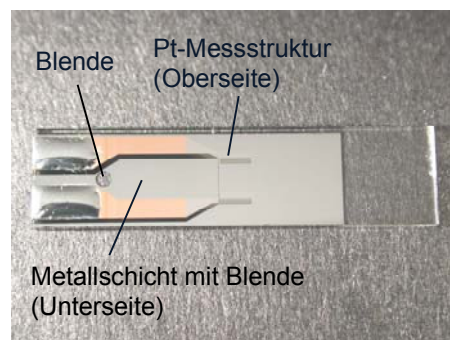


Abb. 3 Glassubstrat (24 x 6 x 1,1 mm)

In Abb. 4 ist ein vergrößerter Ausschnitt der Pt-Messstruktur im betauten Zustand dargestellt.

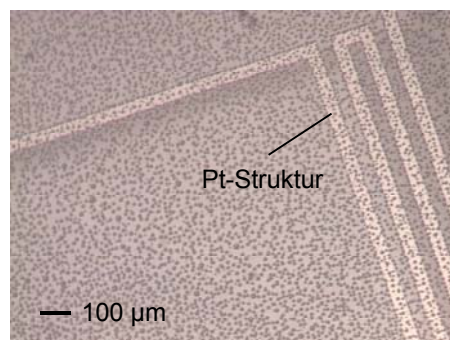


Abb. 4 Vergrößerter Ausschnitt der Pt-Messstruktur mit Betauungströpfchen

4 Zusammenfassung

Es wurde ein optischer Taupunktsensor vorgestellt, dessen neuartiges Prinzip den Sensor unempfindlich gegenüber Schmutzpartikeln und damit sehr langzeitstabil macht. Aufgrund des Einsatzes hybrider Chip-Technologie, Standardbauelementen, sowie Verzicht auf strahlformende Elemente, ist der Sensor für eine kostengünstige Fertigung geeignet. Die Temperaturbestimmung direkt am Ort der Betauung ist sehr präzise, und gewährleistet eine hohe Messgenauigkeit.

Der Sensor ist in einem großen Messbereich (2 %....100 % RF) einsetzbar. Eine erste Applikation des vorgestellten Sensors ist der Einsatz in Druckluftleitungen zur Überwachung der Trockner. Weitere Einsatzmöglichkeiten werden in Lackier-, Klima- und Biogasanlagen, als auch in der Intensivmedizin zur Atemgaskonditionierung gesehen.

Hersteller:

BARTEC GmbH, Schulstraße 30, 94239 Gotteszell,
Tel.: +49 9929 301 0