

イオンゲルとエラストマーナノシートを用いた 高通気性透明温度・湿度センサの開発

学生員 伊佐野 雄司* 非会員 藤田 創** 非会員 上野 和英*
非会員 藤枝 俊宣** 非会員 太田 裕貴*a)

Transparent and Breathable Temperature/Humidity Sensor using Ion Gel and Elastomer Nanosheet

Yuji Isano*, Student Member, Hajime Fujita**, Non-member, Kazuhide Ueno*, Non-member,
Toshinori Fujie**, Non-member, Hiroki Ota**a), Non-member

(2022年1月27日受付, 2022年2月26日再受付)

Temperature sensor and humidity sensor, that are transparent, highly breathable and flexible, were fabricated using elastomer nanosheet and ionic liquid gels with different hydrophilicity. Both sensors showed light transmittance of more than 75% in the visible light range and moisture transmittance 2.8 times higher than transepidermal water loss of human skin. The temperature sensor showed a logarithmic response to temperature, with a sensitivity of 3.2~2.0%/°C, while humidity sensor showed a linear response to humidity, with a sensitivity of 0.9%/percentage of relative humidity.

キーワード: イオン液体, エラストマーナノシート, 温度センサ, 湿度センサ, 透明エレクトロニクス

Keywords: ionic liquids, elastomer nanosheet, temperature sensor, humidity sensor, transparent electronics

1. 緒言

近年, センサの応用対象の拡大に伴い, 柔軟性, 透明性, 気体透過性といった既存の硬質センサでは実現できない特性を持つセンサが注目されている。これらの特性を有し, かつ広範な測定対象を検出可能なセンシング材料として, アニオンとカチオンの組み合わせにより様々な特性を發揮する⁽¹⁾イオン液体が注目を集めている。こうした背景を踏まえ, 本研究では 親水性の異なる 2 種類のイオン液体とポリマーを相溶させた材料であるイオンゲルを用いて, 高い光透過性, 通気性, 柔軟性を併せ持つ温度センサおよび湿度センサを作製した (Fig. 1)。

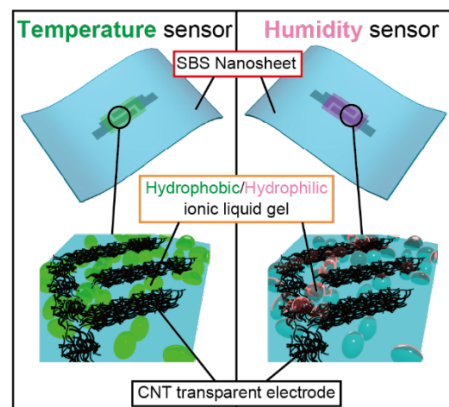


Fig. 1. Schematic image of transparent temperature sensor and humidity sensor

a) Correspondence to: Hiroki Ota. E-mail: ota-hiroki-xm@ynu.ac.jp

* 横浜国立大学
〒240-8501 神奈川県横浜市保土ヶ谷区常盤台 79-5
Yokohama National University
79-5, Tokiwadai, Hodogaya-ku, Yokohama, Kanagawa
240-8501, Japan

** 東京工業大学
〒226-8501 神奈川県横浜市緑区長津田町 4259
Tokyo Institute of Technology
4259, Nagatsuta-cho, Midori-ku, Yokohama, Kanagawa
226-8501, Japan

2. 実験手法

センサの基材となるポリスチレン-ポリブタジエン-ポリスチレントリブロック共重合体 (SBS) ナノシート (膜厚: 450 nm) は既報⁽²⁾に従いグラビアコートにて作製された。SBS 基材上にステンシルマスクを用いてパターンニングを行い, 0.05 wt%カーボンナノチューブ (CNT) 分散液をスプレーコートすることで電極を作製した。電極上にイオン液体とポリマーを溶媒に溶解したイオンゲル溶液をスプレーコート

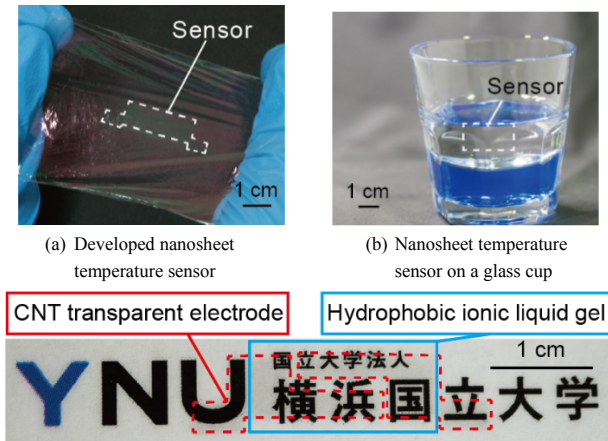


Fig. 2. Developed nanosheet temperature sensor

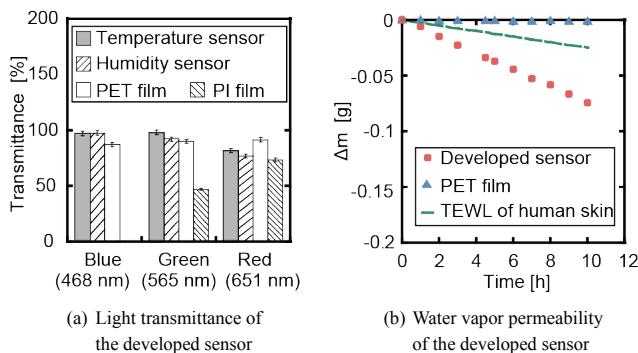


Fig. 3. Light and water vapor transmittance of the developed sensor

することでイオンゲルを製膜し、センサを作製した (Fig. 2)。親水性イオン液体として1-エチル-3-メチルイミダゾリウムテトラフルオロボラート ([EMIM][BF₄])、疎水性イオン液体として *N*-メチル-*N*-プロピルピロリジニウムビス(トリフルオロメタンスルホニル)アミド ([P13][TFSA]) を用いた。

3. 結果

作製したセンサの光透過性および通気性について試験を行った結果を Fig. 3 に示す。

Fig. 3(a) は分光輝度計によって測定された各フィルムの光透過率である。各フィルムによる遮蔽の有無による LED の輝度の比から透過率を算出した。結果として、作製されたセンサは可視光域において 75% 以上の光透過率を示した。一般にウェアラブルデバイスの基板に使用されるポリイミド (PI) と比較して、高い光透過率を得られた。

Fig. 3(b) は薄膜センサの水蒸気透過性について、密閉容器からセンサを通過して蒸発する水の質量によって評価した結果である。この結果から算出した水分透過量は 44 g/m²h であり、これは人体からの水分蒸散 (Transdermal water loss; TEWL) の 2.9 倍に相当する。

作製したセンサそれぞれについて、1 Hz–7 MHz の範囲で電気化学インピーダンス分光法によって温度および湿度に対する電気特性の変化を測定して、結果を Fig. 4 に示した。Fig. 4(a) 中に示した半円部と直線部の交点の実軸値がイオンゲルのバルク抵抗を示す値 (R_{gel}) である (Fig. 4(b))。 R_{gel} の値を用いることで CPE (Constant Phase Element) に由来する

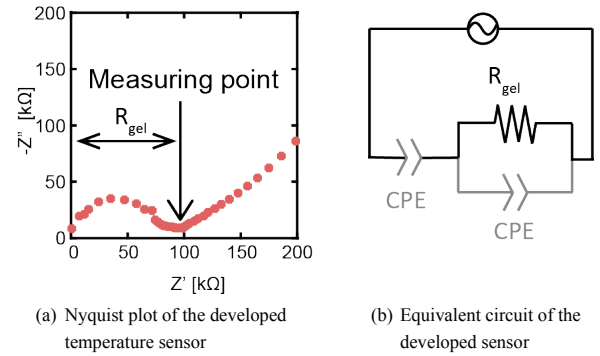


Fig. 4. Measurement principle of the developed sensor

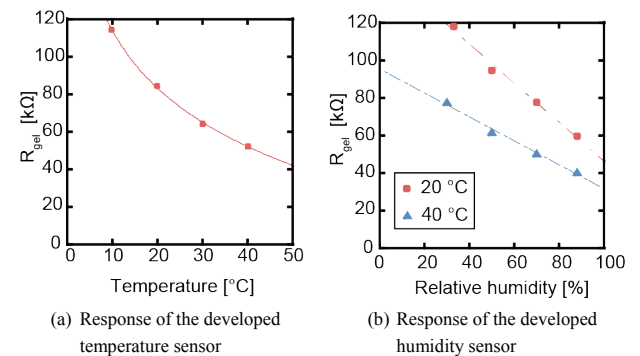


Fig. 5. Responses of the developed temperature sensor and humidity sensor

容量成分を無視できるため、 R_{gel} を測定値とした。

この手法で温度センサと湿度センサそれぞれについて温度および湿度への応答を計測した結果を Fig. 5 に示す。

[P13][TFSA] イオンゲル温度センサの温度応答を Fig. 5(a) に示した。対数近似を行ったところ決定係数 $R^2=0.9993$ となり、応答結果によく一致した。感度は温度帯によって変化し、3.2–2.0%/°C であった。

[EMIM][BF₄] イオンゲル湿度センサの湿度応答を Fig. 5(b) に示した。湿度変化に対し線形的な応答が得られた。感度は 0.9%/湿度% であった。

4. 結論

SBS ナノシートとイオンゲルを用いることで、柔軟性に加え高い透明性と気体透過性を有する温度センサおよび湿度センサを作製した。イオン液体の変更のみで様々な対象に対応が可能であるイオンゲルセンサは、柔軟な光、ガスセンサなどへの応用が期待される。

謝辞

本研究は、JST さきがけ (JPMJPR18J2), JST CREST (JP19209665), JST FOREST (JPMJFR203Q), JSPS KAKENHI (18H05469, 20H00213, 21H03815) のサポートで行われています。

文 献

- (1) Z. Lei, B. Chen, Y. M. Koo, and D. R. Macfarlane : "Introduction: Ionic Liquids", Chem. Rev., Vol.117, No.10, pp.6633-6635 (2017)
- (2) N. Sato, A. Murata, T. Fujie, and S. Takeoka : "Stretchable, adhesive and ultra-conformable elastomer thin films", Soft Matter, Vol.12, pp.9202-9209 (2016)