POLYM PART
مرجع پلیمر در بازار ایران

حسگرهای فشار خازنی مبتنی‌بر PDMS متخلخل بسیار حساس ساخته‌شده بر روی پلتفرم پارچه برای کاربردهای پوشیدنی

چکیده

در این پژوهش حسگر فشار خازنی مبتنی‌بر پلی‌دی‌متیل‌سیلوکسان متخلخل جدید (PDMS) با بهینه‌سازی تخلخل لایه دی‌الکتریک برای کاربردهای سنجش فشار با دامنه وسیع در زمین ورزشی ساخته شدند. حسگر فشار از یک لایه دی‌الکتریک متخلخل PDMS و دو الکترود رسانا مبتنی‌بر پارچه تشکیل می‌شود. لایه دی‌الکتریک متخلخل PDMS با وارد نمودن اسید نیتریک (HNO_3) به مخلوطی از PDMS و سدیم هیدروژن بی‌کربنات ($NaHCO_3$) برای تسهیل آزادسازی گاز دی‌اکسید کربن (CO_2) ساخته می‌شود که باعث ایجاد ریزساختارهای متخلخل در لایه دی‌الکتریک PDMS می‌شود. نُه عدد حسگر فشار مختلف (PS1,PS2,…,PS9) ساخته می‌شوند که در آن‌ها تخلخل (اندازه منافذ، ضخامت) و ثابت دی‌الکتریک لایه‌های دی‌الکتریک PDMS با تغییر دمای پخت، نسبت اختلاط غلظت HNO_3/PDMS و نسبت اختلاط PDMS تغییر یافت. پاسخ حسگرهای فشار ساخته‌شده برای فشارهای اعمال شده از 0-1000 kPa بررسی شد. با افزایش دمای پخت از 110 به 140 تا 170 درجه سانتی‌گراد، تغییر ظرفیت نسبی به ترتیب 100~، 323~ و 485~ درصد به دست می‌آید. به طور مشابه، با افزایش غلظت HNO_3/PDMS از 10 به 15 تا 20 درصد، به ترتیب تغییر ظرفیت نسبی 170~، 282~ و 323~ درصد به دست می‌آید. علاوه بر این، با افزایش نسبت پایه الاستومری PDMS به عامل پخت از 5:1 به 10:1 تا 15:1، تغییر نسبی ظرفیت 94~، 323~ و 460~ درصد به دست می‌آید. PS9 بالاترین حساسیت را در محدوده سنجش فشار گسترده نشان می‌دهد (محدوده فشار پایین (<50 Pa)، $0.3\ kPa^{-1}$؛ محدوده فشار بالا (0.2-1 MPa)، $3.2\ MPa^{-1}$). در نتیجه، مشاهده می‌شود که حسگرهای فشار با لایه‌های دی‌الکتریک در دماهای پخت نسبتاً بالاتر، غلظت HNO_3 بالاتر و نسبت‌های PDMS بالاتر، منجر به افزایش تخلخل و بالاترین حساسیت می‌شوند. به عنوان نمایشگر کاربردی، کلاهی قابل حمل و مناسب پوشیدن با استفاده از آرایه‌ای از 16 حسگر فشار برای اندازه‌گیری و ترسیم فشارهای وارده بر سر بازیکنی در حین استفاده از کلاه ایمنی ساخته می‌شود. ترسیم فشار به مشاهده و درک مناسب بودن کلاه ایمنی در کاربردهای ورزشی کمک می‌نماید.

کلیدواژه‌ها: الکترودهای پارچه‌ای منطبق، کلاهی مناسب ورزش، حسگر فشار خازنی بسیار حساس، اسید نیتریک، PDMS متخلخل، سدیم هیدروژن بی‌کربنات، حسگرهای پوشیدنی، ترسیم فشار در محدوده وسیع.

Keywords: conformable fabric electrodes, fit cap for sports helmet, highly sensitive capacitive pressure sensor, nitric acid, porous PDMS, sodium hydrogen bicarbonate, wearable sensors, wide-range pressure mapping.

نتیجه‌گیری

در این پژوهش، حسگر فشار خازنی متخلخل مبتنی‌بر PDMS با بهینه‌سازی تخلخل لایه دی‌الکتریک برای کاربردهای حسگر فشار گسترده ساخته می‌شود. به عنوان لایه دی‌الکتریک، PDMS متخلخل با معرفی HNO_3 به مخلوطی از PDMS و $NaHCO_3$ برای تسهیل آزادسازی گاز CO_2 در طول فرآیند خنثی‌سازی اسید-باز ساخته می‌شود. نُه عدد حسگر فشار مختلف (PS1, PS2,…,PS9) ساخته می‌شود که در آن‌ها تخلخل لایه‌های دی‌الکتریک (D1,D2,…,D9) با تغییر دمای پخت، نسبت اختلاط غلظت HNO_3/PDMS و نسبت اختلاط PDMS تغییر می‌نماید.

با تغییر دمای پخت از 110 تا 170 درجه سانتیگراد، غلظت اسید نیتریک از 10 تا 20 درصد و نسبت اختلاط PDMS از 5:1 تا 15:1 (کاهش عمر کاربری PDMS)، ظرفیت خازن متخلخل حسگر فشار مبتنی‌بر پارچه به ترتیب 385، 90 و 389 درصد افزایش می‌یابد. با افزایش تخلخل لایه‌های دی‌الکتریک، مدول یانگ مربوطه، تغییر شکل فشاری و سختی نیز کاهش می‌یابد. این منجر به حساسیت نسبتاً بالاتر برای حسگرهای فشار متناظر در همه محدوده‌های فشار اعمال شده (0-1000 kPa) می‌شود. در نتیجه، دمای پخت 170 درجه سانتی‌گراد، غلظت اسید 20 درصد و نسبت PDMS 15:1 به عنوان پارامترهای بهینه برای به دست آوردن توزیع اندازه منافذ یکنواخت‌تر در سراسر لایه دی‌الکتریک شناسایی می‌شوند که می‌توانند برای ساخت حسگر فشار با حساسیت نسبتاً بالاتر اجرا شوند. قابلیت کاربردی پوشیدنی بالقوه حسگرهای فشار مبتنی‌بر پارچه متخلخل به عنوان حسگرهای لمسی بر روی کلاه مناسب مبتنی‌بر پارچه نشان داده می‌شود. کلاه مناسب از مجموعه‌ای از 16 حسگر فشار تشکیل شده است و در حالی که کلاه ایمنی به سر می‌باشد، این کلاه می‌تواند با موفقیت فشار اعمال شده از کلاه بر روی سر سه سوژه را اندازه‌گیری نماید. در نتیجه امکان استفاده از حسگرهای فشار خازنی مبتنی‌بر پارچه متخلخل را برای چندین کاربرد پوشیدنی نشان می‌دهد.

Reference

Masihi, S., Panahi, M., Maddipatla, D., Hanson, A. J., Bose, A. K., Hajian, S., ... & Atashbar, M. Z. (2021). Highly sensitive porous PDMS-based capacitive pressure sensors fabricated on fabric platform for wearable applications. ACS sensors, 6(3), 938-949.

DOI: https://doi.org/10.1021/acssensors.0c02122

ترجمه و ویرایش: جواد برزوئی