

Monitoring Sensors
with Nanoparticle-Dispersed
Structural Color Polymer
for Water-Prohibited Systems

September 2025

Satoshi Nishita

主 論 文 要 旨

No.1

報告番号	甲	第	号	氏 名	西田 知司
主 論 文 題 名 : Monitoring Sensors with Nanoparticle-Dispersed Structural Color Polymer for Water-Prohibited Systems (禁水システム向けのナノ粒子分散型構造色ポリマによるモニタリングセンサ)					
(内容の要旨) 構造色材料は、周期的な屈折率の変化を持つことで特定の波長の色を反射することが可能である。構造色材料のうち、ナノ粒子をポリマ内に分散させた構造色ポリマは、ポリマの変形を構造色波長の変化に変換可能であるため、変位センサや温度センサ、化学センサへの応用研究が広く行われている。その多くはハイドロゲルを主材とした構造色ゲルセンサである。ハイドロゲルは内部に水を保持することから軟らかく、変形による構造色の変化を最大限利用可能という利点を持つ。しかし、ハイドロゲルは多量の水分を含むため、電子回路や水と反応する化学物質などの禁水環境にハイドロゲルセンサを適用することは困難であり、故に構造色ポリマを禁水環境でセンサとして用いることは考慮されてこなかった。 そこで本研究では、水の存在が禁止される環境でも利用可能な、非ハイドロゲルの構造色ポリマを用いたモニタリングセンサを2件提案し、電子回路やリチウムの近傍で非ハイドロゲル構造色ポリマが変形と光の変換用センサとして利用可能であることを示した。 第1章では、本研究の背景、目的、コンセプトについて述べた。 第2章では、構造色ポリマについて詳説した。まずナノ粒子分散型構造色ポリマの理論について述べ、次に理想的な配列構造とアモルファス構造について述べた。 第3章では、構造色ポリマの作製手法とその構造の解析について説明した。走査型電子顕微鏡画像の解析により、作製した構造色ポリマがシリカナノ粒子のアモルファス構造を持つことを明らかにした。 第4章では、1件目の提案として、構造色ポリマを用いたインライン微量液体モニタリングカラーセンサによる色検知について詳説した。このセンサは非ハイドロゲル構造色ポリマの利用によりセンサ内部の電子回路への水の侵入が発生しない構造を持つ。構造色ポリマを外部から圧縮することでその反射光波長を変更し、センサでの可視光領域での色変化検出を行った。また、ブROMOチモールブルー溶液を用いて検出対象物質のpHの検知に応用した。 第5章では、2件目の提案として、構造色ポリマを用いたリチウム電池内部での応力モニタリングセンサによる観測について焦点を当てた。リチウム系の電解液を構造色ポリマに浸透させセパレータとして用いることで電池としての性能を保ちながら応力のモニタリングが可能である。応力センサによって電池内部での気泡やデンドライトの発生がいつどこで発生するかを観測した。また構造色ポリマによる応力センサが100回の充放電試験という長期観測に適用可能であることを実証した。 第6章では、非ハイドロゲルの構造色ポリマによるセンサについての展望について論じ、本研究の結論とした。					

Thesis Abstract

No. _____

Registration Number	☒ “KOU” ☐ “OTSU” No. _____ *Office use only	Name	NISHITA, Satoshi
Thesis Title Monitoring Sensors with Nanoparticle-Dispersed Structural Color Polymer for Water-Prohibited Systems			
Thesis Summary Structural color materials reflect a specific wavelength of color due to a periodic change in refractive index. Among those materials, structural color polymers contain nanoparticles dispersed in the polymer. Those polymers enable conversion from deformation into color changes. Thus, the structural color polymers have been widely researched for applications, such as displacement, temperature, and chemical sensors. These sensors were mostly based on soft hydrogel due to holding water inside, realizing wide-range color changes. However, the availability of structural color polymers as sensors in water-prohibited environments, such as electric circuits and reactive chemicals with water, has been rarely considered. Herein, two monitoring sensors using a non-hydrogel structural color polymer for water-prohibited environments are proposed. The availability of the non-hydrogel structural color polymer as a deformation-to-optical transducer near electric circuits or water-reactive lithium was shown. Chapter 1 described the background, the purpose, and the concept of this dissertation. Chapter 2 detailed the principles of structural color polymers. The mechanical theory and ideal/amorphous structures of the microsphere-dispersed structural color polymer were described. Chapter 3 explained the fabrication methods and structure analysis of the fabricated structural color polymers. The analysis using the SEM (scanning electron microscope) images revealed that the fabricated polymer had an amorphous structure of silica nanoparticles. Chapter 4 examined color detection with the in-line microliter liquid color monitoring sensor as the first suggestion. The polymer is non-hydrogel, achieving water protection for the electronic circuit. The wavelength of the reflective light on the polymer was changed by external compression. With this mechanism, the sensor achieved color detection between green and yellow. The sensor also detected the difference in pH by using a BTB (bromothymol blue) solution. Chapter 5 focused on observation with the stress monitoring sensor between electrodes in a lithium battery as the second suggestion. A lithium-based electrolyte was permeated into the separator sensor, enabling mechanical stress monitoring while maintaining the battery's performance. The stress sensor revealed when and where microbubbles or dendrites occurred in the battery. The stress sensor also achieved long-term observation during the charging/discharging cyclic test 100 times. Chapter 6 concluded this dissertation with a discussion of prospects for the sensor of the non-hydrogel structural color polymer.			