

フジシール財団 研究助成事業
成果報告書

公益財団法人フジシール財団
理事長 岡 崎 裕 夫 殿

報告日 2025 年 5 月 14 日

研究課題	化学ポテンシャルの勾配により水滴運動を制御可能な表面をもつパッケージの開発	助成金額
		200 万円
助成名	研究助成	
ふりがな	すずき やすひと	研究助成申請年度
研究者氏名	鈴木 祥仁	2024 年度
所属機関	大阪公立大学大学院	研究期間
		2024 年 4 月～2025 年 3 月
役 職	准教授	

下記の通り、研究成果を報告いたします。

記

1. 研究成果の概要

本研究では官能基の保護・脱保護を利用した化学ポテンシャルの勾配を持つ表面の作製とその応用を提案した。官能基を保護したポリマーの合成、スピンコートによる薄膜の作製、および部分的脱保護を行い、その物性を計測した。また、2種類のポリマーを混ぜたポリマーアロイ表面の環境応答性を検討した。さらに、予想外の発見として、高分子のガラス転移前後で転がり角が大きく変化することを見出した。これは表面張力の上向きの成分が柔らかくなった高分子表面を持ち上げることによって、転がりにくくなることを反映している。新たなガラス転移現象の測定方法を確立したと考えている。主に、転がり角についての論文を現在、投稿中である。また前半部分の内容についても近日中に論文にまとめる予定である。以下に詳細を記述する。

【化学ポテンシャルの勾配制御技術】

BOC 基で保護されたメタクリル酸 2-ヒドロキシエチル (BHEMA) を単量体として用いたポリマー合成、およびその脱保護による濡れ性変化に関する検証を行った。BOC 基は酸処理や加熱によって脱保護され、極性の高いヒドロキシ基が表面に顕在化することから、ポリマーの親水性を制御できる点に着目した。BHEMA を重合することで得られる PBHEMA は疎水性を示し、脱保護により得られる PHEMA は親水性を示す。接触角測定では、PBHEMA が約 90° 、PHEMA が 70° と明確な差異を示し、濡れ性制御が実証された。従来のポリマーブラシによる表面修飾に比べて、より広面積・低コストでの応用を視野に入れ、本研究ではスピンコートによる薄膜作製に取り組ん

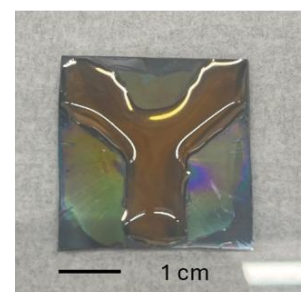


図 1. PBHEMA の薄膜を文字形状にマスクして酸触媒を滴下することで、親水疎水パターンを作成できる。それにより、表面上での水の形状を制御可能である。

だ。PBHEMA および PHEMA を種々の溶媒で溶解し、シリコンウェハーにスピコートすることで、膜厚 100 ~ 300 nm 程度の均一膜が得られた。濃度と膜厚との関係を系統的に調査し、膜厚制御の自由度も確認された。PBHEMA 薄膜に対してマスキング+TFA 滴下により、部分的な脱保護による親水・疎水のパターンニングを試みた。図 1 に示すように、親水・疎水パターンニングをすることで、基板上の水滴の形状を制御できることを示した。AFM 測定により、パターン境界には 100 nm 程度の明瞭な厚み勾配が形成されていることを確認し、水滴の転がり角は約 50° と、液滴の移動を誘導できるレベルに達した。また、ポリマー表面の温湿度応答性にも注目した。PBHEMA と PHEMA の混合物（ポリマーアロイ）を用いたスピコート膜では、温度変化により表面の濡れ性が大きく変化することが示された。特に、加熱によってポリマー鎖の移動性が高まると、表面での官能基の配向が変化し、接触角が温度に応じて増減した（図 2）。湿度変化に対しても同様に応答性が観察され、空気中の水分に対してヒドロキシ基が表面に配向する挙動が確認された。パターン形成後の加熱処理による境界部の変化についても調査し、PHEMA と PBHEMA の両方のガラス転移温度（ T_g ）以上で加熱すると、勾配がなだらかになり、液滴の滑落挙動も消失することが確認された。

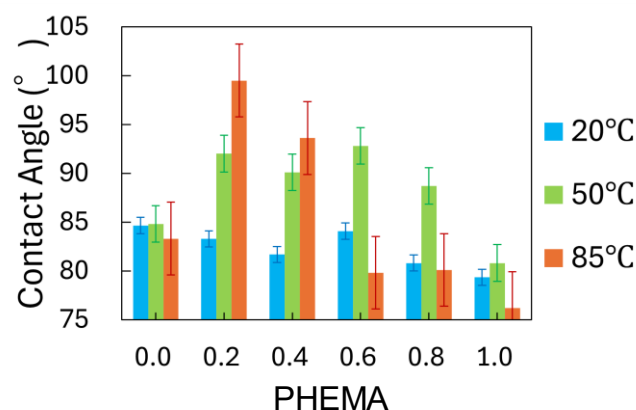


図 2. PBHEMA と PHEMA のポリマーアロイの各温度での接触角変化。各ポリマーのガラス転移温度の差に起因して、温度によって接触角が変化する応答性が観察された。

【転がり角の温度依存性による新たなガラス転移温度の測定方法】

本研究では、液滴の転がり角が表面の軟化により大きく変化することを見出した。これは、新たな T_g の測定方法の開発と考えることができる。今回の研究では、イオン液体を高分子膜上に滴下し、基板を徐々に傾けながら液滴が滑り始める角度、すなわち転がり角を温度の関数として測定した。その結果、 T_g 付近で転がり角が大きく変化した。これは、高分子表面が T_g を超えて軟化することで、液滴の表面張力の上向きの成分によって、基板がわずかに変形し、液滴のピン留めが強まるためと考えられる。特にポリマーブラシのように高分子鎖が基板に固定された構造では、膜厚の増加とともに転がり角の変化が顕著となり、鎖の固定による構造応答の違いが明瞭に現れた。AFM 観察により、液滴接触部における膜表面の変形を直接視覚化し、転がり角の変化が表面の力学的性質と密接に関係していることを裏付けた。転がり角の測定は、簡便かつ非破壊的に表面のガラス転移挙動を捉える手段となり得る。また、この原理を利用すると、傾いた基板上で、高い温度では水滴を保持しているものの、冷却することで液滴が転がり落ちることを見出した。

2. 研究成果のパッケージ産業への貢献の可能性

本研究で開発した親水性・疎水性の勾配構造を有する表面は、液滴を能動的に移動させる機能を持ち、パッケージ分野に新たな価値を提供できる可能性がある。たとえば、電子機器や食品包装などにおいて、視認性や内容物の劣化を妨げる水滴の付着を防ぐ表面として応用できる。スピコートや簡易な脱保護処理による製膜プロセスは、低コストかつ大面積への展開が可能であり、既存のフィルム加工技術とも親和性が高い。さらに、温湿度応答性を持つ機能性パッケージ材料として、湿度センサや環境変化に応じた開閉機能などへの応用も期待され、持続可能な高度包装技術の構築に資する。また、本研究で見出された転がり角の温度応答性は、現時点では基礎的な検討にとどまるが、パッケージ産業において①温度変化に応じて水滴を自発的に除去する機能性表面、②湿気や凝縮水の能動的制御機能を持った熱応答性パッケージング材料、③加熱履歴を視覚的に示す簡便な品質管理インジケータとしての応用が期待される。

3. 学会発表、学会誌等への論文掲載、産業財産権出願などの実績（現時点で未発表・未掲載・未出願のため、上記「1. 研究成果の概要」、「2. 研究成果のパッケージ産業への貢献の可能性」の当財団ホームページ上の公開の延期を希望される場合、その旨 記載してください。）

論文投稿中