

1. 研究の目的

近年、高分子材料を微細加工する技術の飛躍的な進歩により、ナノテクノロジー分野での高分子材料の用途が拡大しつつある。現在の電子産業の主力プロセスであるフォトリソグラフィ技術は、極めて優れた微細加工技術である一方、加工する寸法のナノサイズ化に伴い、装置の高コスト化・肥大化といった問題に直面している。さらに、材料の利用効率の低さ、真空プロセスの多様など、エネルギー・環境・資源の観点から問題視され始めている。また、フォトリソグラフィ技術と比較して簡便な装置で実現可能な微細加工技術としてインクジェットプロセスがある。インクジェット技術は、必要な量の資源を必要な場所のみ配置できるオンデマンド性において優れているが、作業が逐次的であり、生産性や同じ物を同じように作る点において劣る傾向がある。このように、材料表面の微細加工技術は未だ改善が求められている。しかしながら、自然界の表面には様々なストライプパターンが存在しており、そのパターンは自己組織化により自発的に発生する。

本申請では、自然界の表面によく見られる自己組織的凹凸構造に着目し、その形成プロセスを材料表面の加工技術に応用することで、有機薄膜表面のナノ構造制御と機能化を達成することを目的とした。さらには、表面凹凸構造のナノからマクロまでのマルチスケール化を実現する。表面構造は自己組織化に基づいているため、微細構造を簡便、大面積かつ安価に作製する技術の確立につなげることも目的である。

2. 研究の内容(手法、経過、評価など。)

(高分子/高分子)系において表面の凹凸構造は、面内方向に圧縮応力が加わる場合に表面が座屈することで発生し、そのサイズは膜厚、歪み速度や薄膜と内部材料のヤング率の比と密接な関係がある。本申請課題が対象とする(金属/高分子)系では、熱膨張係数の違いを積極的に利用することで外部から歪みを加えることなく自発的に凹凸構造が形成させる。

試料として、室温でガラス状態であるポリスチレン(PS)と室温でゴム状態であるポリビニルメチルエーテル(PVME)を用いた。高分子ブレンド薄膜は、シリコン基板上にスピコート法を用いて作製した。高分子薄膜上にシリコンを蒸着することで、(金属/高分子)二層膜を作製した。自己組織的凹凸構造の評価は、走査プローブ顕微鏡(SPM)測定、光学顕微鏡観察に基づき行った。

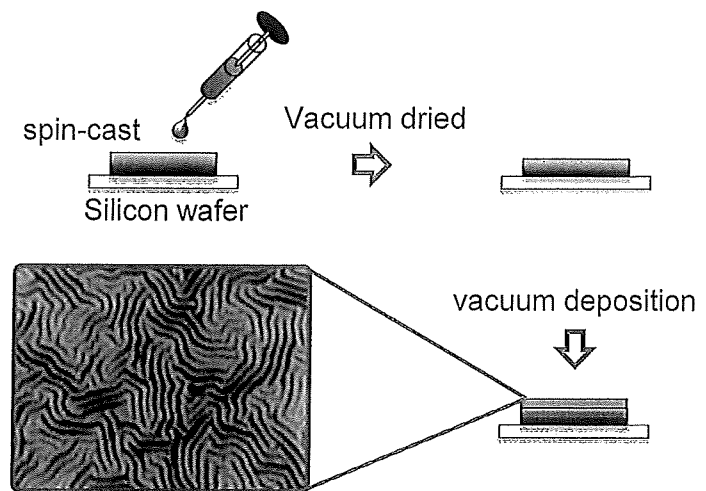


図1. メソスケールの周期構造を有する金属/高分子薄膜の作製手法のイメージ

2. 研究の内容(続き)(書ききれない場合には、同一形態のページを追加しても結構です。)

【表面自己組織的凹凸構造の作製】

図2は、シリコン基板上に作製したPS/PVME ブレンド薄膜表面に金属を蒸着することにより自己組織的に形成した凹凸構造の原子間力顕微鏡像(a,b)と断面プロファイル(c)である。表面形状像より、膜表面にはランダム方向に周期の揃った皺が形成されていることがわかる。周期的な皺状構造の断面プロファイル(図2c)から、膜表面に形成した皺は正弦的な波であり、その周期と振幅はそれぞれ1 μm および200 nm 程度であった。表面の凹凸構造は、面内方向に圧縮応力が加わる場合に表面が座屈することで発生し、そのサイズは膜厚、内部材料のヤング率の比と密接な関係がある。観測された(金属/高分子)系では、熱膨張係数の違いによる応力で外部から歪みを加えることなく自発的に凹凸構造が形成したと考えられる。

【周期的凹凸構造の制御】

図3は、分子量の異なるPS/PVME ブレンド薄膜表面の光学顕微鏡観察に基づく明視野像と暗視野像である。図中(a,c)は高分子量のブレンド膜表面の形態、(b,d)は低分子量のブレンド膜表面の形態であり、分子量が小さい場合、膜表面の構造が緻密化していた。高分子ブレンドの分子量を変化させることで、金属蒸着後の凹凸構造のサイズが変化することが示唆された。

図4は、自己組織的凹凸構造が制御された金属蒸着ブレンド薄膜表面の表面形態である。ランダム方向に形成する皺状構造(図4a)は、熱収縮時の応力の方向を制御することで、一軸方向に配列した皺状構造(図4b)に変化することを見出した。

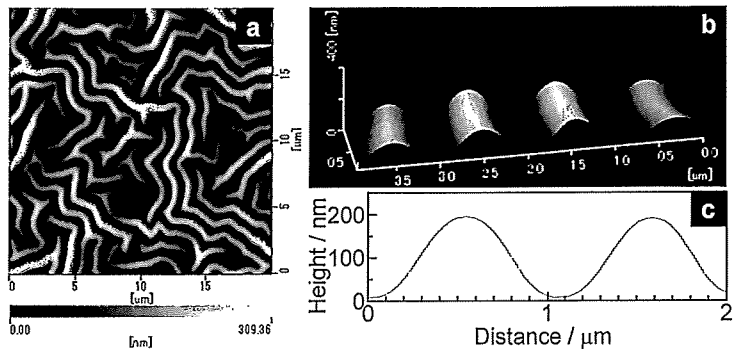


図2. 金属蒸着により自己組織的凹凸構造を形成させたPS/PVME ブレンド薄膜表面の原子間力顕微鏡像(a,b)と断面プロファイル(c)

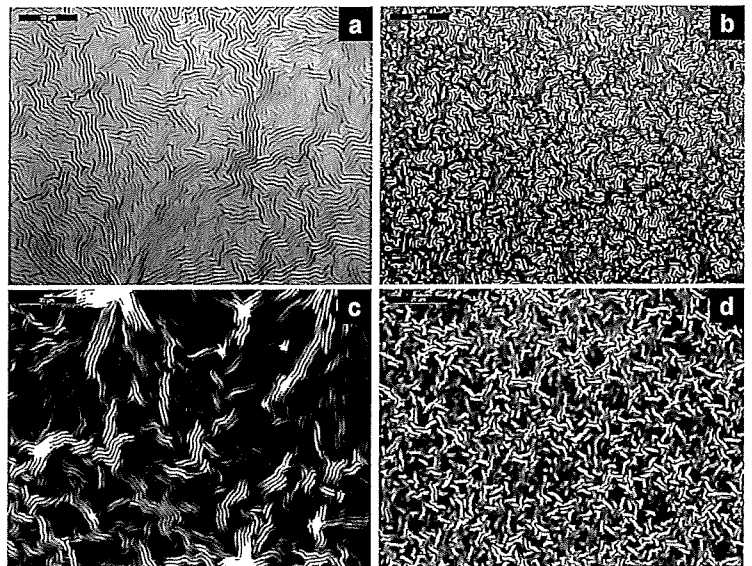


図3. 分子量の異なるPS/PVME ブレンド薄膜表面の光学顕微鏡観察に基づく明視野像(a,b)と暗視野像(c,d). 高分子量ブレンド(a,c)および低分子量ブレンド(b,d)

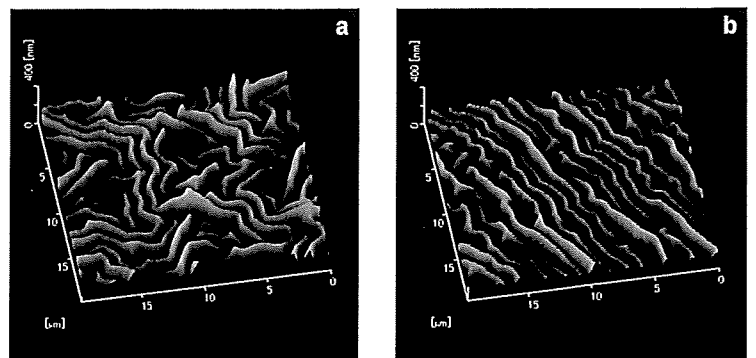


図4. 自己組織的凹凸構造が制御された金属蒸着 PS/PVME ブレンド薄膜表面の原子間力顕微鏡像. ランダム配向表面(a)および一軸配向表面(b)

3. 研究の結論、今後の課題

【結論】

自然界の表面には様々なストライプパターンが存在しており、そのパターンは自己組織化により自発的に発生している。本研究では、自然界の表面によく見られる自己組織的凹凸構造とその発生メカニズムに着目し、その形成プロセスを材料表面の加工技術に応用することで、有機薄膜表面のナノ構造制御を達成した。近年、同様の研究事例は数多く見受けられるが、その多くは外部刺激により面内方向に圧縮応力を印加し、表面座屈構造(皺状の凹凸構造)を発現させている。しかしながら、本研究では(金属/高分子)系で、熱膨張係数の違いを積極的に利用することで外部から歪みを加えることなく「自発的に」凹凸構造を形成させることに成功した。

【今後の課題】

本研究の遂行により、メソスケール表面構造を有するソフトマテリアルを簡便に構築出来ることを見出した。また、今回の実験では直径3インチ程度の面積においても、表面に一樣な皺状構造を形成出来ることを確認している。本技術を活かして産業に大きなイノベーションを引き起こすためには、得られた成果をマクロスケールの実用材料にスケールアップすることが要求される。したがって、高速生産、低コスト化などの諸条件を満たし、想定される社会ニーズに応じたインプリメンテーション技術を用いたフィジビリティの高い技術の確立につなげるのが今後の課題である。

4. 成果の価値(とくに判りやすく書いてください。)

1. 社会的価値

本研究成果は、現在の電子産業の主力プロセスであるフォトリソグラフ技術やインクジェット技術で課題となっている『装置の高コスト化・肥大化』あるいは『低生産性』といった問題を解決できる可能性を有している。さらに、本手法は従来のプロセスにおける『優れた微細加工の精度』や『必要な量の資源を必要な場所にのみ配置できるオンデマンド性』といった微細加工技術に必要な不可欠な利点を損なうことない。本研究では、直径3インチのサイズでも凹凸構造が均一に作成できていることを確認しており、申請者が提案する内容は工業的にも実現可能である。また、省資源・省エネルギー・低環境負荷であるため、研究成果の社会への貢献度は極めて高く、その波及効果は計り知れない。

2. 学術的価値

本研究の中心をなす凹凸構造である弾性体表面の“皺(しわ)”は、比較的柔らかい物体の表面に比較的硬い薄膜が密着している系において表面方向に圧縮応力が加わる場合に、表面が座屈することで発生する。これまで“皺”を利用した研究のほとんどが、外部刺激を必要とする系において展開されていた。一方、本研究では、(無機固体/高分子)の組み合わせについて着目し、自発的な表面構造形成の実証研究を行った。得られた成果は、固体界面に束縛された高分子科学の理解の深化に繋がる。さらに、異種固体(たとえば金属)と接した高分子界面の弾性率、ひては、分子鎖熱運動性を解明する新規な評価法の構築も繋がることが期待される。

3. 成果論文(本研究で得られた論文等を年代順に書いてください。未発表のものは公表予定を書いてください。)

投稿準備中