2020 年度　JKA　補助事業

エピタキシャル成長利用マイクロテクスチャ創成技術の確立とその応用

実施報告書

2021-5-13

東京工業高等専門学校　機械工学科　精密・微細加工学研究室
教授　角田陽

JKA Social Action 競輪とオートレースの補助事業

この事業は公益財団法人ＪＫＡ(競輪)の補助により実施しました.

1. はじめに

近年ナノテクノロジを中心とする技術革新により，携帯電話やコンピュータなどさまざまなものが高機能化かつ小型化を実現している．そのような現代のナノテクノロジの一翼を担う中にマイクロテクスチャ面がある．マイクロテクスチャとは，代表寸法がマイクロメートルオーダ以下の単位規則形状が無秩序にまたは秩序よく規則的に配置された面をいう．このような表面をもつことで，濡れ性の制御によるはっ水効果，氷雪の付着防止や摺動面での摩擦制御によるすべり防止効果，光の波長反射の制御による太陽電池の高効率化などを実現でき，さまざまな分野での応用が期待できる．実際にマイクロテクスチャ面形成技術の利用により，携帯電話用半透過反射型 LCD では表示性能が繊細になりかつ省エネルギ化が格段に進んだ例もある．すなわち，同面は平滑面にはない，構造発色や摩擦減少機能等，地球環境問題対策をはじめ，広い分野への直接・間接的な波及効果が期待できる．しかし，その創成技術の確立は十分でない．そこで本事業では，規則的配列マイクロテクスチャ創成技術のひとつとして，微細形状付与基板への分子線エピタキシャル結晶成長における分子の自律的な整列現象により，従来にない多様なマイクロテクスチャ創成技術の確立と応用をめざす.

マイクロテクスチャ面を機械的加工のみで製作することはその微細さゆえに困難であり，半導体集積回路製造技術の応用によるさまざまな物理的・化学的加工方法がとられ，研究が進められてきている．本研究では，フォトリソグラフィ，RIE(Reactive Ion Etching)によるドライエッチングおよび MBE(Molecular Beam Epitaxy)によるエピタキシャル成長を用いて，機械的加工によらない，マイクロテクスチャ面の創成技術の確立をめざしている.

本研究で対象とするエピタキシャル成長原理の MBE とは，基板のもつ結晶軸に沿って 1 原子・分子層ごとに成長分子を配列させる，単結晶成長技術のことである．MBE を用いると，原子・分子層単位に分子を基板上に堆積させることができ，またそれらが基板の結晶軸に沿って自律的に成長するため，適切な条件下では，マイクロテクスチャ面を作製できることが先行研究により示されている.

MBE 工程のみを行った場合，成膜途上でみられるマイクロテクスチャ単位規則形状はランダムに現出する．これに対して，フォトリソグラフィと RIE によりパターン形状をあらかじめ付加した基板に対して，特定条件のもと，MBE によるエピタキシャル成長を行うと，その付加形状により，創成される単位規則形状の位置制御や形状制御を図ろうとする試みである.

本研究では，本研究実施者が主として行ってきた先行研究を基礎として，単結晶シリコン基板にフォトリソグラフィと RIE によるドライエッチングによりさまざまなパターン形状を付加した後に MBE を行い，加工条件と創成テクスチャの関係を体系化することで，任意のマイクロテクスチャ面創成技術を確立するための知見を得ることを目的とする.

2. プレパターン

通常テクスチャ形状は基板表面の極わずかに異なるポテンシャルエネルギによりランダムな位置に現出する．そこで本研究では図 1 に示すような基板にあらかじめμm オーダの線や円のパターンを付与し，意図的に基板表面のポテンシャルエネルギを大きく変えることにより，形状や大きさの制御を図り，任意のテクスチャ面創成をめざす．

図 1　プレパターンの模式図

プレパターンは主としてフォトリソグラフィ手法を主として作製している．図 22.1 にその工程例を示す．

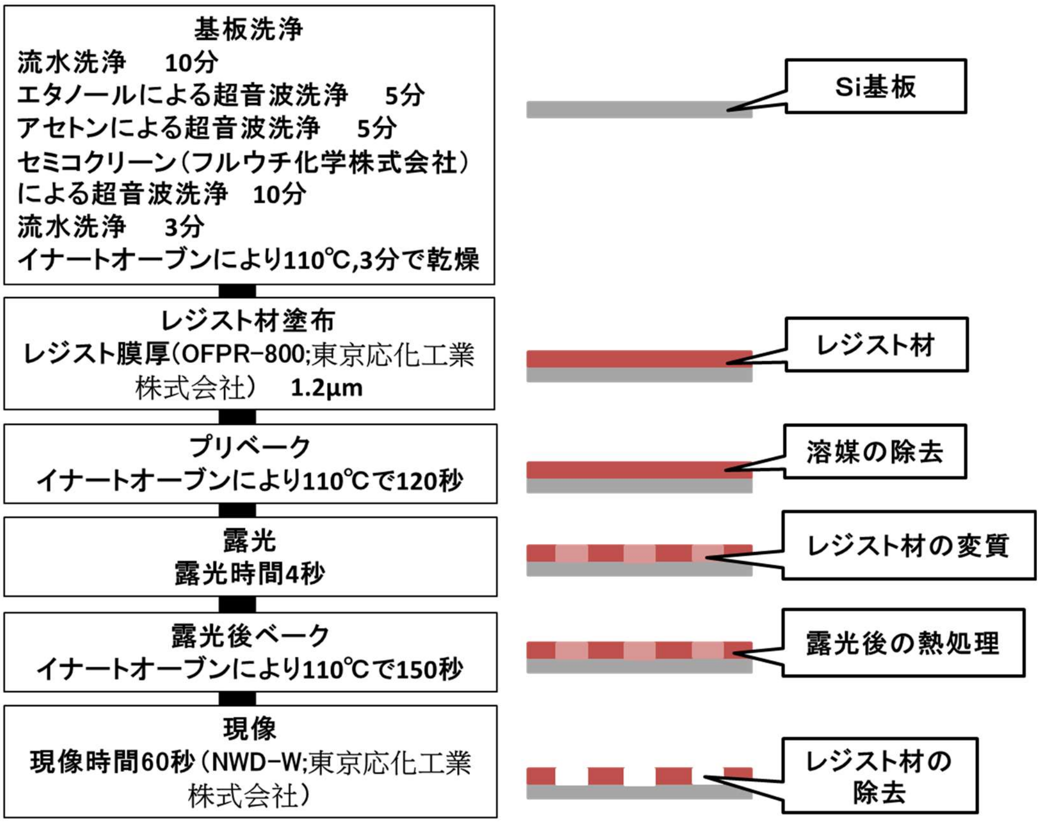
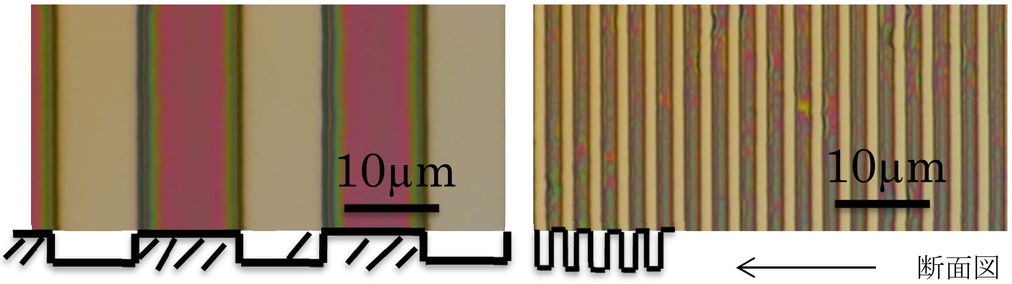
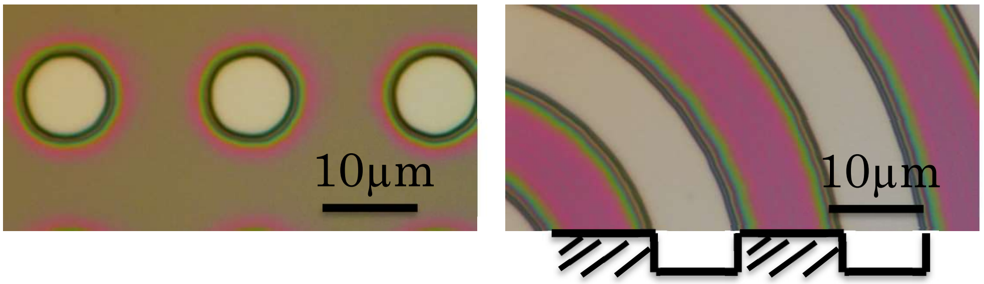


図 2　フォトリソグラフィ工程の流れ

図 3 に作製されたプレパターンの観察結果の一例を示す.



(a) 直線の溝　幅 10μm パターン　(b) 直線の溝　幅 1μm パターン



(c) 直径 10μm 円形穴パターン　(d) 溝幅 10μm 同心円の溝パターン

図 3　フォトリソグラフィによるプレパターン結果

4. MBE 実験装置

本実験で用いた MBE 実験装置の概要を図 4 に示す．以下に示す実験結果は，基板は直径 100mm の市販の単結晶 Si 基板に対して，Si を成長させた場合のものである．成長時の基板温度は 800℃で，成膜量を変化させた実験結果を示している．

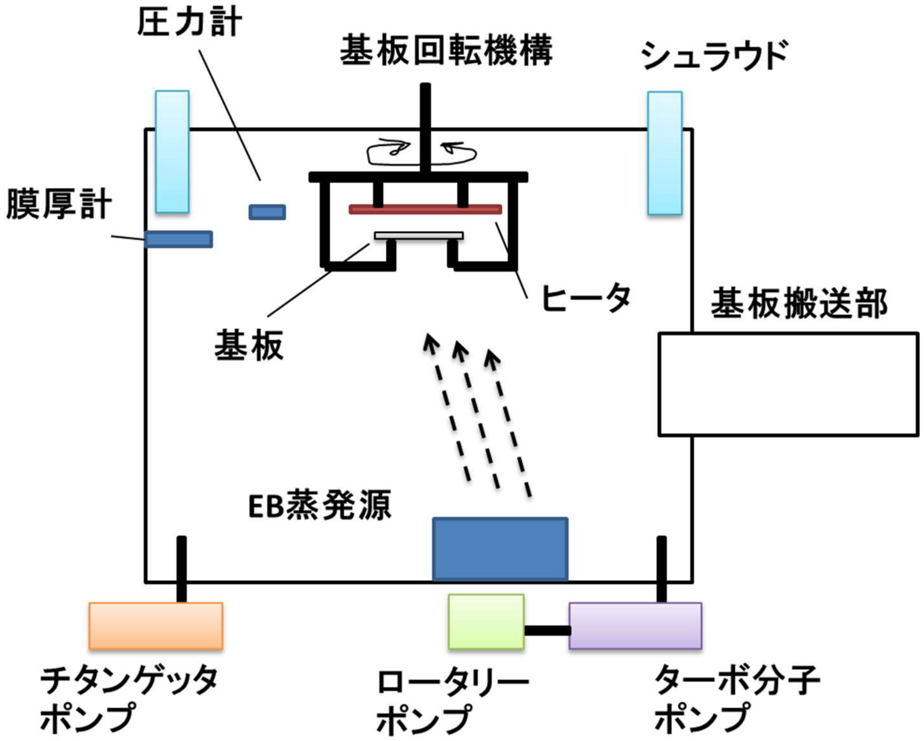


図 4　MBE 装置構成概略図

5. 実験結果

図 5～7 は成膜量に対するテクスチャ創成形状の観察結果の一例である.

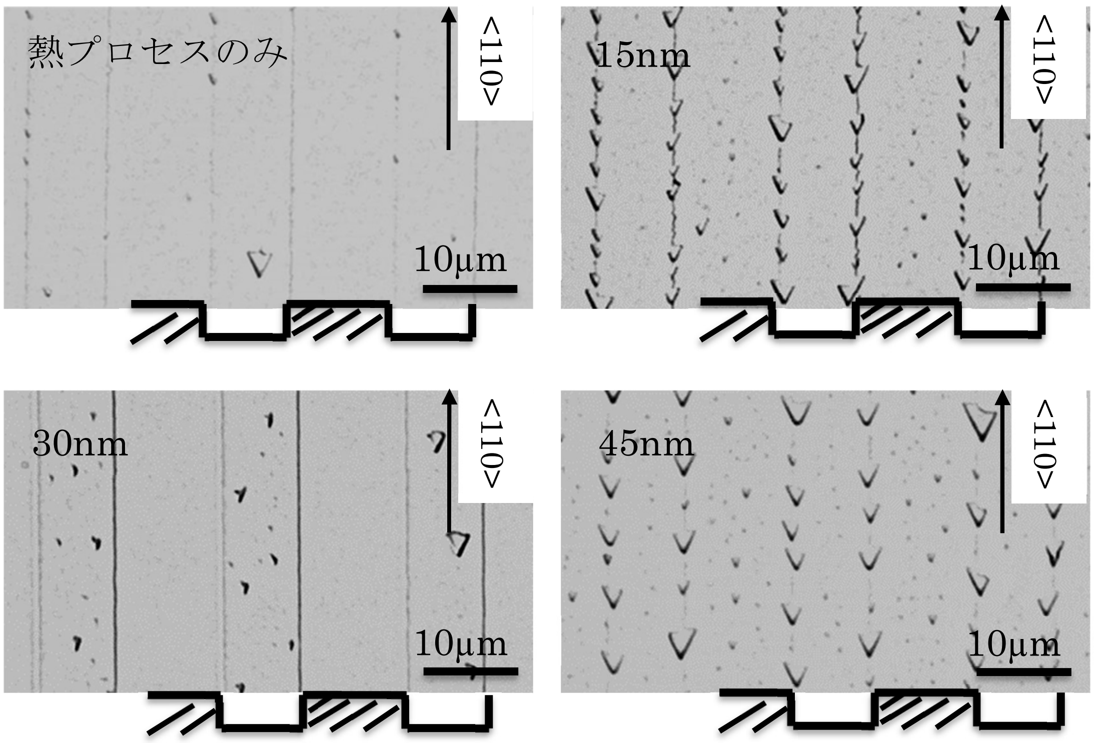


図 5　溝幅 8.5μm　ピッチ 20μm

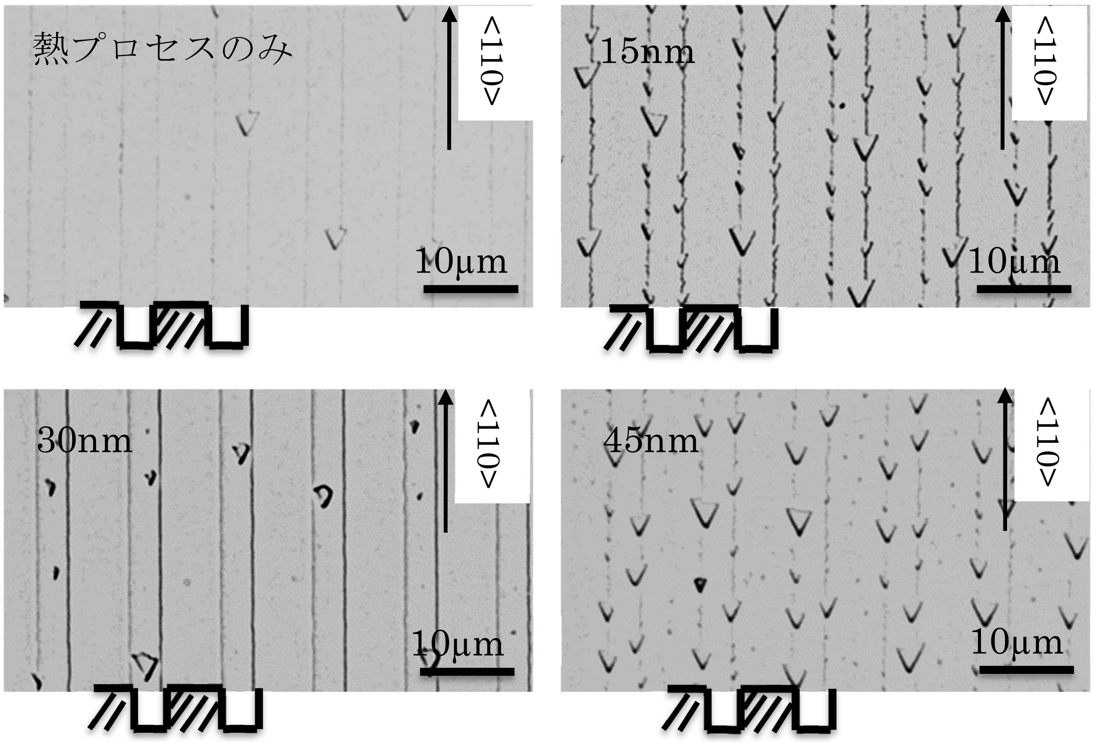


図 6　溝幅 3.5μm　ピッチ 10μm

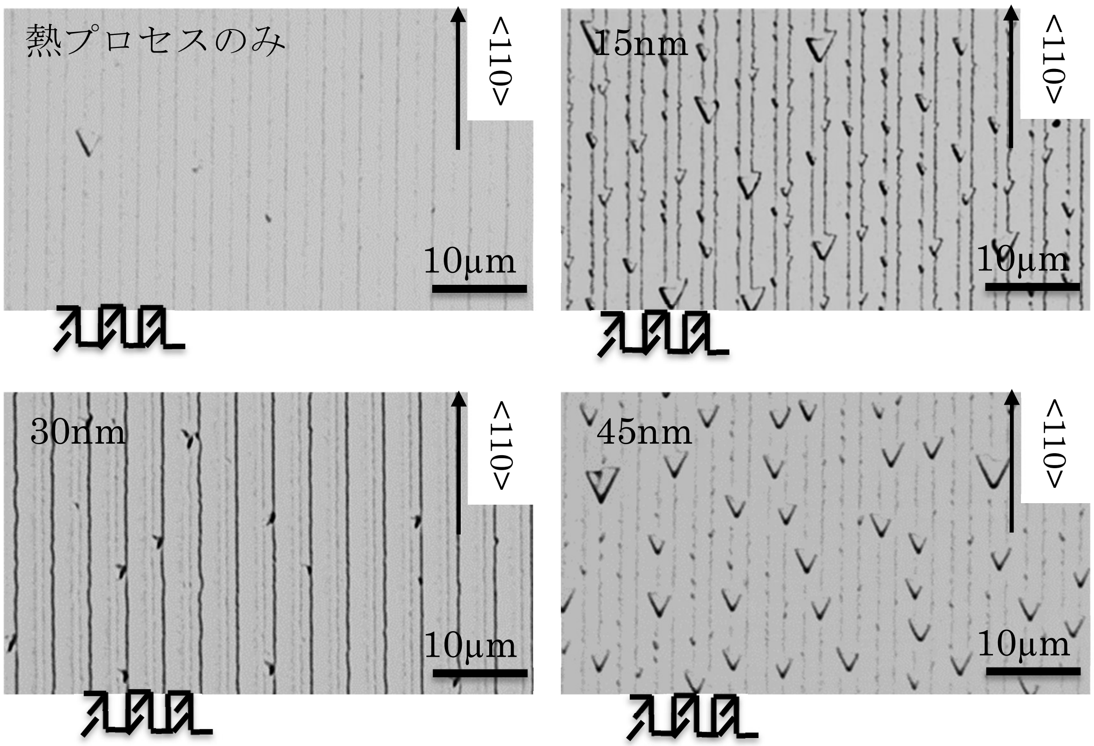


図 7　溝幅 1μm　ピッチ 3μm

成膜量を増加することで三角穴形状も増加していることがわかる．しかし成膜量 30nm の時の三角穴形状の数は製膜量 15nm の時よりも大きく少なく，形状も小さいものが多かった．溝幅が 3.5μm 以上あるとき，成膜量 0，15，45nm の時，溝の側面に沿って三角穴形状が並んだ．成膜量 30nm の時は反対に溝幅が広いときにでも溝側面部に並ぶような傾向が現れず，三角穴形状が中心付近に創成されている．溝の間隔が広くなると溝と溝の中心付近に三角穴形状が創成された．溝幅が 1～1.5μm 程度になると，一つの溝に沿って一つの三角穴形状ができ，三角穴を整列させることができるといえる．

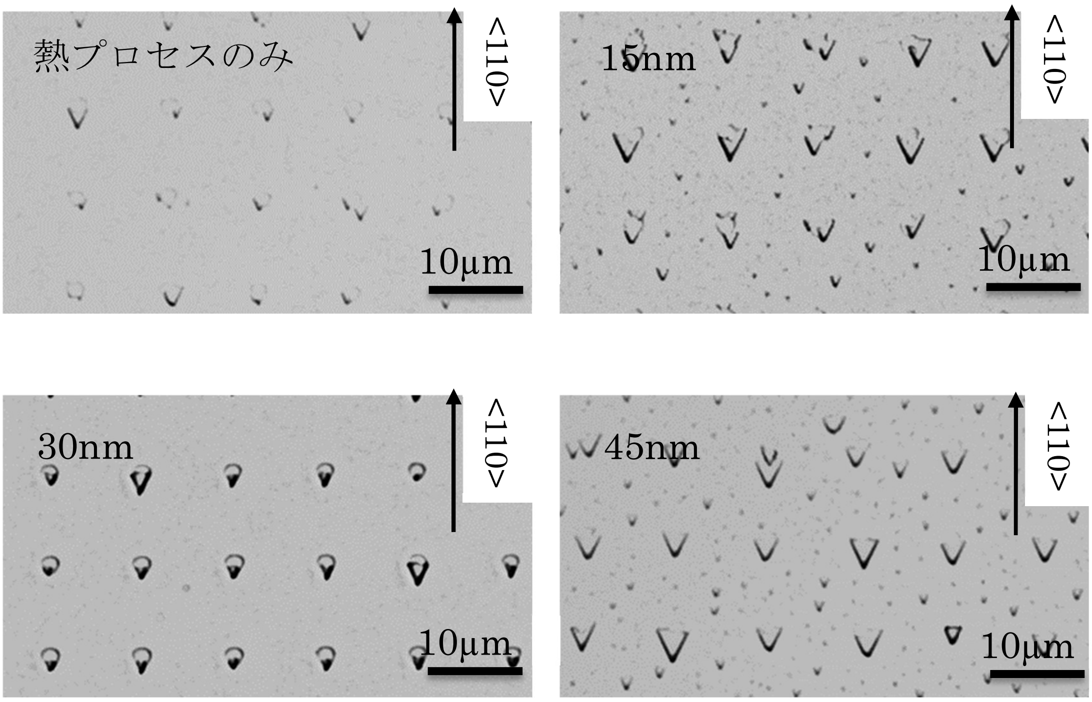


図８　円プレパターン　直径 1.5µm　ピッチ 10µm

図８は円プレパターン部でのそれぞれの成膜量におけるテクスチャの創成形状を観察した結果の一例である．

溝パターン同様に成膜量が 0，15，45nm の時の直径３.５μｍ以上あるとき三角穴形状は円孔側面に沿って創成されているのに対し，成膜量 30nm の時，三角穴形状は円パターン中心付近に創成された．円直径が１～1.５μｍの場合にはいずれの成膜量の場合でも円一つにつき三角穴形状は一つ創成されている場合が多い．特に，円パターン直径 1.5µm，ピッチ 10µm の時一つの円パターンに一つの三角穴形状ができる可能性が高く，創成された三角穴形状の大きさには均一性があるように見える．

6．マイクロテクスチャ面の撥水機能

作製したマイクロテクスチャ面に液体をたらし，撥水の様子を上から観察した結果の一例を図 9 に示す．たらした液滴が撥水性を示しつつ，円形テクスチャの配列角度の変化部分に沿って液滴形状が変化していることがみてとれる．これは適切なマイクロテクスチャ面の設計と製作により，その上にたらされる液体の撥水性が制御できることを示している．

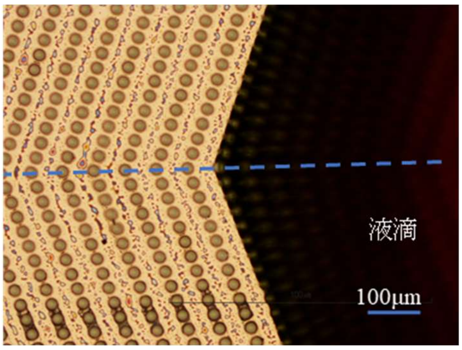


図 9　配列角度に変化がある円形マイクロテクスチャ面に液滴をたらした結果の一例

7．おわりに

付加したパターン形状により，MBE 結晶成長時の三角穴形状や三角柱構造といった単位規則形状の位置や大きさを制御できる可能性を明らかにしている．応用として，本手法により作製されるマイクロテクスチャ面が発現する，撥水性あるいは光の反射効率や吸収効率などの特性により，例えばテクスチャの付与によって汚れが付着しにくい配水管への応用や太陽光電池パネルの集光性能向上による性能上などへの寄与など多くの多方面への応用が期待できる．

謝辞

本研究は公益財団法人ＪＫＡ(競輪)の補助により実施された．記して謝意を表す．