

空気界面を利用した液晶分子の光配向技術を開発 —多様な液晶デバイスを作るための新提案—

名古屋大学大学院工学研究科の関隆広教授、福原慶博士後期課程大学院生、永野修作准教授、原光生助教のグループは、新たな液晶材料の光配向手法を開発しました。液晶物質はディスプレイや光学情報の変換デバイスに使われる産業上極めて重要な物質です。液晶材料の応用には、液晶分子の方向を意のままに簡便に揃える技術が不可欠で、各種液晶デバイスを作成する上での鍵となります。従来、液晶を挟む固体基板の表面に配向膜（液晶分子を並べる能力のある膜）を設ける手法が用いられてきましたが、本グループでは、液晶物質の膜と空気の界面に配向能を持つスキン層を設けて、液晶材料を配向させる新技術を開発しました。空気界面に形成されるスキン層は偏光照射によって配向させる能力を持ち、これを利用して液晶分子を自由な方向に配向させ、書き換えることができます。この際、膜を支持する固体基板表面側には配向させるための操作は一切不要です。液晶材料の用途と可能性を広げる新手法を提案するものとして注目されます。

この研究成果は、2014年2月18日発行の、英国の科学雑誌『Nature Communications』誌（電子版）に掲載されました。

空気界面を利用した液晶分子の光配向技術を開発 —多様な液晶デバイスを作るための新提案—

【概要】

液晶分子の配向法(分子を並べる方法)は液晶ディスプレイパネル、光学補償フィルム(注1)、光学変換デバイス等の製造において鍵となる極めて重要な技術です。これまでは、固体基板上に設けた配向膜(注2)によって液晶分子を並べてきました。本研究にて、液晶材料と空気との界面に形成された配向膜によって、高分子液晶材料を光によって自由に配向させる現象が発見されました。空気側に形成される薄膜は、20 ナノメートル程度のごく薄いスキン層で十分です。ここで用いる配向膜は光によって液晶材料を配向させる光配向膜であり、偏光照射によって、自由にその液晶分子の方位を定めることができます。また、その配向は何回でも光で書き換えができます。

この手法では、液晶高分子を支持する固体基板表面には一切手を加える必要がありません。無機基板だけでなくフレキシブルな高分子フィルムなど、多様な基板を用いることができます。今回提案の手法は、高分子液晶材料に少量の光配向能をもつブロック共重合体を混ぜ、これを熱処理するだけで空気側にこのスキン層を偏析させます(注3)。また、インクジェットプリンターを用いれば空気側に膜を描画して、光配向をさせることもできます。この場合観測する偏光板を回転させれば、描いた画像が出現したり消えたりを繰り返します。

【ポイント】

液晶材料は固体基板で挟むか、固体基板上に膜形成をさせることで用いられます。これまでには、固体基板上に配向膜を設けることで液晶材料の分子を配向させてきました。今回見出された手法では、固体基板ではなく、空気側に形成されたごく薄いスキン層により液晶材料を配向させます(図1)。本手法は簡便であり、液晶デバイスの作成のプロセスの選択が大きく広がり、液晶材料の用途も拡大できる可能性があります。

【背景】

液晶はディスプレイや光学情報の変換デバイスに使われる産業用極めて重要な物質です。その応用には液晶分子の方向を意のままに揃える技術は各種液晶デバイス作成に必須なキーテクノロジーです。液晶の方向を揃えるのに、従来は液晶物質を挟む固体基板(たとえばガラス基板など)の表面に丈夫な高分子膜を作成しそのラビング処理(注4)により液晶を配向させてきました。一方、25年前に、固体基板表面にて起こる光反応を用いて、液晶物質を配向させる手法が開発されました。この光配向技術(注5)は、より精細な解像度が得られる、ラビング操作より生ずる静電破壊やダスト発生などの不具合を避けることができる特長から、現在では液晶表示パネルの大量生産プロセスにも用いられ始めています。基板表面で液晶材料の配向を光などの外部刺激で配向させ、配

向を書き換えることのできる表面は“コマンド表面”と呼ばれます。

従来は、もっぱらコマンド表面として固体基板が用いられており、それが常識的な手法でした。本研究では空気側の表面（固定表面が存在しないという意味で自由表面（free surface）ともいう）に設けた 20 nm 程度の光に反応する超薄スキン層を用いて、空気側から液晶材料膜の分子配向を光で自由に制御する方法を初めて提案しました。

【研究の内容】

空気側に光反応性高分子の薄膜を設ける手法は簡単で、液晶高分子に空気側に偏析しやすい光応答性のアゾベンゼンを含むブロック共重合体を数パーセント添加して製膜し、120°C程度で数分アニール（熱処理）するだけです。熱処理することでこのブロック共重合体のみが空気表面に偏析（注3）します。このブロック共重合体の空気側スキン層が光配向膜となります。液晶高分子のみでは、メソゲンと呼ばれる棒状分子は膜平面に対して垂直に配向しますが、ブロック共重合体が表面に偏析すると、水平に配向するようになります。この状態で偏光を照射すると、偏光に対して直角方向にメソゲンが配向します。この現象を利用すると、フォトマスクで偏光を照射することで、液晶配向のパターニングに基づく自由な描画が出来ます（偏光顕微鏡にて明暗のパターンが観測されます）。このパターニング描画は何回でも書き換えることができます。

表面へのスキン層の形成は、別報として印刷技術を使うこともできます。液晶高分子膜をまず調製しておき、その上にここでは超微量塗布が可能なインクジェット装置を用いてこのブロック共重合体を描画塗布しました。ここでは、一例として富士山の描画を示します。80°C程度に加熱しながら偏光照射することで、偏光顕微鏡下での黒い背景に明るい印刷描画が浮かび上がります。（図2）

フォトマスクやインクジェット塗布で得られる解像度としては、現時点で1 μm程度が得られています。

【成果の意義】

この手法では、支持する固体基板側には一切の操作が不要であることが特徴です。ガラスや石英シリコンなどの無機固体基板でも良いし、ポリエチレンテレフタレート（PET）やポリイミド（PI）膜などのフレキシブルな高分子材料シートも使えます。そのため、平面パネルに縛られることなく、基板を後で円筒などカーブした形状へと加工することもできます。

今回の技術は、空気側の表面だけを工夫すればよく、液晶高分子の薄膜を作成した後に、自由にカスタマイズして液晶配向を描画できることが特徴です。この手段はこれまでの液晶材料の配向法にはなかったものであり、操作が単純なだけに、液晶材料の応用が多様に広がることが期待されます。たとえば、表面だけ光が当たれば膜全体の配向を制御できるので、使用する液晶物質は透明である必要はなく、半導体や導電性特性を持つ

液晶材料など光が透過しにくい膜にも適用が可能であると期待されます。（従来の光配向技術では液晶材料に光を透過させる必要があるため、強く色づいた液晶材料は使用ができませんでした。）こうした状況から、液晶配向のプロセスと用途が大きく広がるものと期待されます。

熱処理や偏光照射を行わなければ、印刷しても描画パターンニングは浮き出ないため、描画は潜像（注 6）としての役割になります。必要な時にだけ光照射することで像が浮かび上がることと、書き換えも可能であることから、液晶材料を偽造防止システムに利用するなど新たな用途に適用される可能性があります。

今回の研究は、ブロック共重合体の産業用途の観点からも興味深いものです。ブロック共重合体は一般的に合成に手間がかかるため、その用途は限られているのが現状ですが、今回の技術では、高価な高分子物質であっても、微量を高分子中に添加する、あるいは微量を印刷することで大きな効果が発揮されます。こうした考え方をヒントに、高分子材料技術分野におけるブロック共重合体の新たな利用拡大につながることも期待しています。

【用語説明】

（注 1）光学補償フィルム：液晶ディスプレイ画面が正面だけでなく斜めから見ても色に変色しないために設けるフィルム。液晶テレビ画面などでは必ず使用されている。

（注 2）液晶配向膜：固体基板に特に操作をしなければ液晶分子の方位は特に規定されない。固体基板上に液晶配向膜があると、その作用で液晶分子は一様に並ぶ。

（注 3）偏析：例えて言えば、牛乳を加熱すると空気界面に薄膜が自然にできるが、そのイメージに近い。より疎水的な高分子や枝分かれの多い高分子が空気界面に偏析しやすい。

（注 4）ラビング処理：液晶材料を配向させる手段として、古くからポリイミドのような高分子薄膜を塗布してその表面を布で“擦る”手法が用いられてきた（この手法をラビング処理という）。これまではラビング手段が液晶パネル生産に専ら用いられてきた。

（注 5）光配向技術：ラビング処理ではなく、光照射によって液晶を配向させる技術。技術的にラビングより有利な点が多く、ここ数年で液晶ディスプレイパネル生産に用いられ始めている。

（注 6）潜像：写真は現像によって画像が見えるようになる。現像する前の状態では画像が記録されていても我々の目には見えない。このような像を潜像という。この研究の場合、偏光照射が現像プロセスに相当する。

【論文名】

タイトル : Free-surface molecular command systems for photoalignment of liquid crystalline materials

著者名 : 福原 慶¹, 永野 修作^{1,2}, 原 光生¹, 関 隆広¹

¹名古屋大学大学院工学研究科物質制御工学専攻

²名古屋大学ベンチャービジネスラボラトリー

掲載雑誌 : Nature Communications

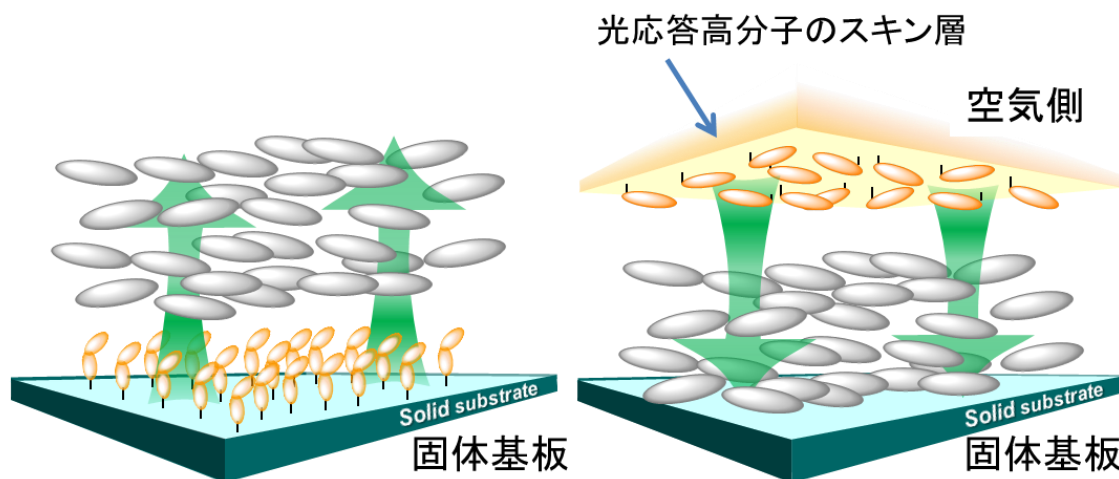
掲載巻・ページ等 : Vol. 5, article number 3320, 2014 年 2 月

DOI: 10.1038/ncomms4320

発行 2014 年 2 月 18 日

【研究助成】

科学研究費補助金 基盤研究(S) 23225003, 基盤研究(B)25286025, 若手研究(B) 25810117



従来法:
固体表面で起こる光反応で
液晶分子を配向させる

新手法:
空気側に形成された光反応薄膜
を用いて液晶分子を配向させる

図1 従来と今回開発された液晶の光配向手法

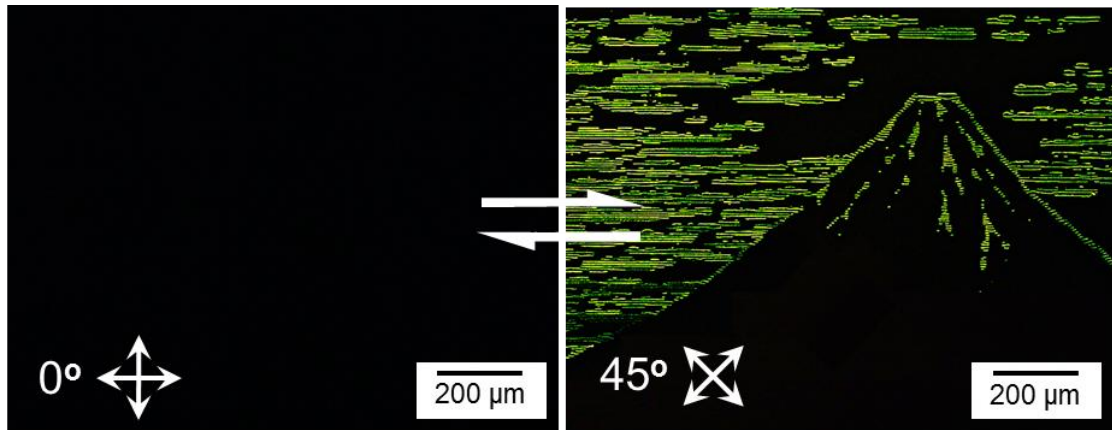


図2 本手法によるパターンニングの例。光応答高分子のインクジェット印刷と偏光照射で作成した液晶配向パターン。直交偏光板を45° 回すことで画像の出現/消滅が繰り返される