

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 9 日現在

機関番号：82401

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2013～2014

課題番号：25888024

研究課題名(和文) 強誘電性カラムナー液晶の開発

研究課題名(英文) Development of Ferroelectric Columnar Liquid Crystals

研究代表者

宮島 大吾 (Miyajima, Daigo)

独立行政法人理化学研究所・創発物性科学研究センター・基礎科学特別研究員

研究者番号：60707826

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,100,000円

研究成果の概要(和文)：強誘電性材料は不揮発性メモリーへの応用など、日常生活に不可欠な材料である。強誘電性カラムナー液晶は、カラム1本1本が強誘電性を発現し、超高密度メモリーへの応用が展開できる可能性がある。しかしながら、これまで報告された強誘電性カラムナー液晶はこれまで1例しか無く、またその分極反転のスピードは著しく遅かった。そこで、今回新たに強誘電性カラムナー液晶に似た、しかし液晶相を発現しない分子を合成し、それを混ぜ込むことで電場応答スピードを格段に向上することに成功した。これは混ぜ込んだ分子が不純物として液晶相の秩序構造を乱し、液晶のドメインサイズが小さくなり、分子の運動性が向上したものと推察される。

研究成果の概要(英文)：Ferroelectric materials are utilized for the principal elements for non-volatile memories and indispensable for our daily lives. Ferroelectric columnar liquid crystals may lead to the development of ultra high density memory devices. However, the reported ferroelectric columnar liquid crystals showed the very slow response to an applied electric field. In this study, we developed the new compounds, which are miscible with the ferroelectric columnar liquid crystals. They destabilized the columnar phases and enhanced the mobilities of the molecules. Hence, the resultant mixed system exhibited one order of magnitude faster response to an applied electric field than the pristine systems.

研究分野：材料化学

キーワード：強誘電性 液晶 水素結合

1. 研究開始当初の背景

強誘電性材料は不揮発性メモリーへの応用など、日常生活に不可欠な材料である。現在実用化されている強誘電性材料の多くはチタン酸バリウムに代表される無機物が主役である。一方、有機物から成る強誘電体は軽くフレキシブルなど、無機物にはない特性を付与することができる。とりわけ液晶材料は自己修復能だけでなく、スピコートといったソリューションプロセスによるデバイスへの組み込みが可能であり、製造コスト削減が見込める。液晶材料の中でも、強誘電性カラムナー液晶は、カラム1本1本が強誘電性を発現し、超高密度メモリーへの応用が展開できる可能性がある。しかしながら、これまで報告された強誘電性カラムナー液晶は1例しか無く、またその分極反転のスピードは著しく遅く、実用化には程遠かった。新しい強誘電性カラムナー液晶の開発が待ち望まれている。

2. 研究の目的

本研究ではこれまでたった一例が報告されていない強誘電性カラムナー液晶開発を促進するためにも、分子デザイン指針の確率を目指す。目指す所は単に強誘電性カラムナー液晶を開発するのではなく、これまで問題であった分極反転スピードを高めるための設計戦略を中心に探索する。

3. 研究の方法

これまで開発してきた強誘電性カラムナー液晶の分子デザインを改変し、強誘電性カラムナー液晶を実現するために必要な分子構造を理解する。そのうえで、分子構造と分極反転スピードの相関を調べ、強誘電性・カラムナー構造を損なうことなく分極の反転スピードを向上させるための分子デザイン戦略を探索する。次に、液晶材料に不純物をドーピングすることで、カラムナー液晶のドメインサイズを小さくし、同じく分極反転スピードとの相関を調べる。

4. 研究成果

まずこれまで報告した強誘電性カラムナー液晶の分子構造を改変し、強誘電性発現に必須な分子デザイン要素を見積もった。その結果、極性コアと水素結合ユニットまでの長さを変えると一気に強誘電性が失われることが明らかとなった。一方で、アミドより外側のアルキル鎖の数や分岐点の導入は影響がないことが明らかとなった。そのため、アミドより極性コアに近い分子構造は固定し、それより外側の分子デザインを改変し、分極反転スピードと分子デザインの相関を調べた。その結果、側鎖の分子デザインの対称性を下げることで分極反転スピードが向上す

ることが明らかとなった。これは分子のパッキングが低下し、分子の運動性が向上したことに起因されると推察できる。一方、アルキル鎖をシロキサン等の異なるタイプの側鎖に置換したところ、カラムナー構造が形成されなくなったり、これまでと違うタイプのカラムナー構造が形成された。この原因に関してはまだ検討中であるが、側鎖のデザインに関してもアルキル鎖がベストであるという結論に至った。しかし、側鎖の改変による分極反転速度の向上は1桁程度にとどまり、それ以上の向上には至らなかった。次に、適切な不純物をドーピングすることで液晶相の秩序構造を乱し、液晶のドメインサイズを小さくすることに成功した。その結果、分極反転スピードは格段に向上(3桁近く)することに成功した。この結果は、ドメインのサイズがカラム構造の運動性と相関があることを示唆している。これまで他の液晶材料でも不純物や基板等を利用した方法でドメインサイズを制御する方法が報告されている。それらの手法を組み合わせることで、この強誘電性カラムナー液晶の物性をさらに向上できることが期待される。これらの結果は、今回発見した成果はカラムナー液晶全般に適用することが可能であり、強誘電性カラムナー液晶の実用化に向けた大きな成果であるといえる。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計 3件)

Seunghyun Sim, Daigo Miyajima*, Tatsuya Niwa, Hideki Taguchi, Takuzo Aida*; Tailoring Micrometer-Long High-Integrity 1D Array of Superparamagnetic Nanoparticles in a Nanotubular Protein Jacket and Its Lateral Magnetic Assembling Behavior; *J. Am. Chem. Soc.*; 査読あり; Vol.137, 2015, pp4658-4661. DOI: 10.1021/jacs.5b02144

Kang Jiheong, Daigo Miyajima*, Tadashi Mori, Yoshihisa Inoue, Yoshimitsu Itoh, Takuzo Aida*; A rational strategy for the realization of chain-growth supramolecular polymerization; *Science*; 査読あり; Vol.347,no.6222, 2015, pp646-651. DOI: 10.1126/science.aaa4249

Kang Jiheong, Daigo Miyajima*, Yoshimitsu Itoh, Tadashi Mori, Hiroki Tanaka, Masahito Yamauchi, Yoshihisa

Inoue, Soichiro Harada, Takuzo Aida*; C5-Symmetric Chiral Corannulenes: Desymmetrization of Bowl Inversion Equilibrium via "Intramolecular" Hydrogen-Bonding Network; *J. Am. Chem. Soc.*; 査読あり; Vol.136, 2014, pp10640-10644. DOI: 10.1021/ja505941b

〔学会発表〕(計 11件)

宮島大吾、荒添弘樹、相田卓三、Development of A Novel Photoresponsive Film Actuator with Carbon Nitride Polymers, 日本化学会第95春季年会、口頭、2015年3月27日、千葉県船橋

小俣有輝、宮島大吾、荒岡史人、相田卓三、側鎖の分子デザインによる強誘電性カラムナー液晶の物性向上, 日本化学会第95春季年会、口頭、2015年3月27日、千葉県船橋

姜志亨、宮島大吾、相田卓三、'Chain-Growth' Supramolecular Polymerization of C5-symmetric Corannulene、日本化学会第95春季年会、口頭、2015年3月27日、千葉県船橋

坂本滋、荒添弘樹、宮島大吾、相田卓三、カーボンナイトライド薄膜の開発と応用、日本化学会第95春季年会、口頭、2015年3月27日、千葉県船橋

姜志亨、宮島大吾、相田卓三、Supramolecular Assembly of C5-symmetric corannulene, International Symposium On the Synthesis and Application of Curved Organic pi-Molecules and Materials, Poster, 2014年10月19日、京都府宇治

宮島大吾、姜志亨、相田卓三、C5-Symmetric Chiral Corannulenes: Desymmetrization of Bowl Inversion Equilibrium via "Intramolecular" Hydrogen-Bonding Network、International Symposium On the Synthesis and Application of Curved Organic pi-Molecules and Materials, Poster, 2014年10月19日、京都府宇治

宮島大吾、強誘電性カラムナー液晶の開発、2014年液晶討論会、口頭、2014年9月8日、島根県松江

小俣有輝、宮島大吾、荒岡史人、相田卓三、側鎖の分子デザインによる強誘電性

カラムナー液晶の物性向上、2014年液晶討論会、ポスター、2014年9月8日、島根県松江

宮島大吾、荒添弘樹、相田卓三、Development of a graphitic carbon nitride thin film, NIMS conference 2014, poster, 2014年7月2日、茨城県筑波

Rao Venkata Kotagiri, 宮島大吾、相田卓三、Structural Control over Supramolecular p-n Hetero-Junction Nanostructures, poster, NIMS conference 2014, 2014年7月2日、茨城県筑波

金泰勲、宮島大吾、相田卓三、Supramolecular polymers of propeller-shaped aromatic molecules, poster, NIMS conference 2014, poster, 2014年7月2日、茨城県筑波

〔図書〕(計 件)

〔産業財産権〕
出願状況(計 0件)

名称:
発明者:
権利者:
種類:
番号:
出願年月日:
国内外の別:

取得状況(計 0件)

名称:
発明者:
権利者:
種類:
番号:
出願年月日:
取得年月日:
国内外の別:

〔その他〕
ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

宮島 大吾 (Miyajima Daigo)
独立行政法人理化学研究所・創発物性科学研究センター・基礎科学特別研究員
研究者番号: 60707826

(2) 研究分担者

()

研究者番号：

(3)連携研究者 ()

研究者番号：