

分野：材料

# 空間的に誘電特性を大変調できる フォトバリャブルキャパシタ

理化学研究所 創発物性科学研究センター  
ソフトマター物性研究センター  
特別研究員 西川浩矢

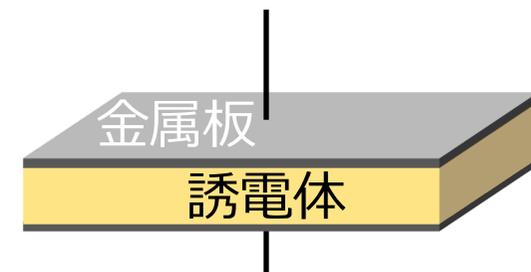
# 従来技術とその問題点

電気を蓄えたり、放電したりできる電子素子「キャパシタ」は身の回りの電子機器の中で多く使われている重要な部品

セラミックコンデンサ、電解コンデンサ、フィルムコンデンサ、可変コンデンサなど豊富な種類があり、各々固有の利点を持つ

- 電気を蓄える指標 “静電容量 (キャパシタンス)” を大変調できない (例えば2桁以上)
- 空間的変調ができない

などの問題がある。



キャパシタ概略図

# 新技術の特徴

## フォトバリアブルキャパシタ

- 巨大分極流体と光応答性添加剤を混合しただけの材料
- 誘電率/静電容量を空間的に光で2桁変調可能  
➔ 約10000~100/約0.34  $\mu\text{F}$ ~7.0 nF\* \*素子厚約13  $\mu\text{m}$ 時
- 誘電率/静電容量が素子厚みに対してほぼ線形の関係にあり、それらの変調領域を制御可能
- 他の外部刺激に比べて変調前後のヒステリシス特性がない
- 変調後の誘電率/静電容量を長期間保持可能
- 流体であるためフレキシブル材料やウェアラブル材料用素子の応用に期待（フレキシブルキャパシタ、フレキシブル光センサ

# フォトバリアブルキャパシタの位置付け

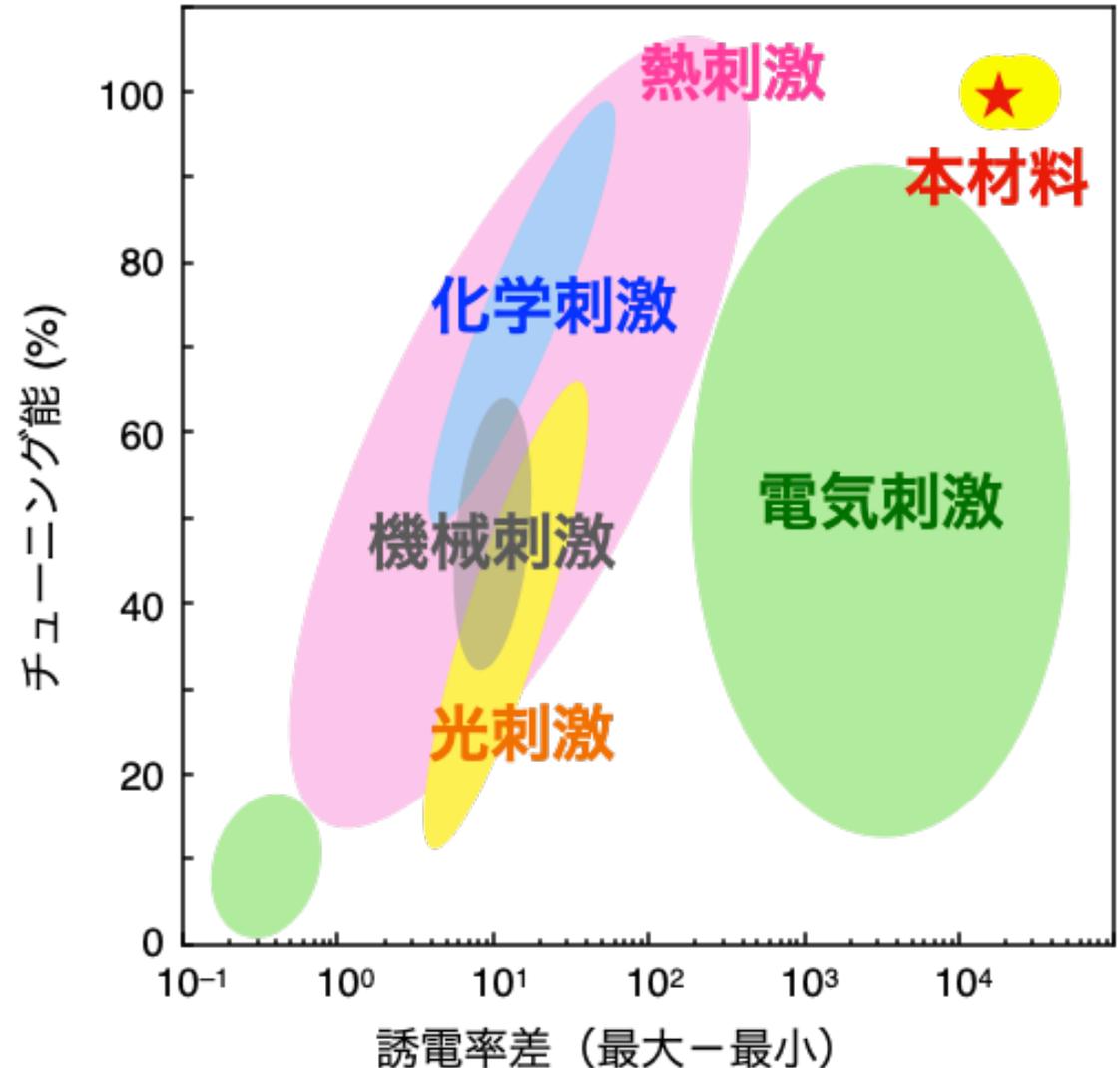
国内外での誘電率・キャパシタンス  
を外部刺激で変調する試み

## 誘電体

有機材料、無機材料、  
ハイブリッド材料

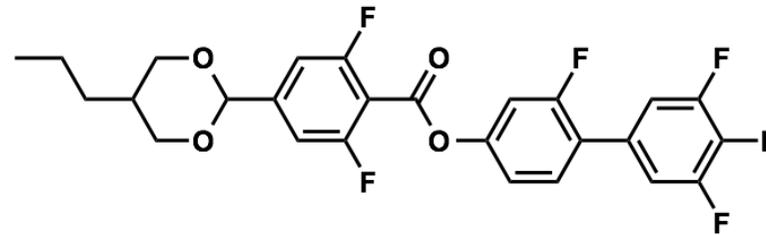
## 外部刺激

光、電気、熱、機械、化学



# フォトバリアブルキャパシタの原理①

## 巨大分極流体 (DIO)

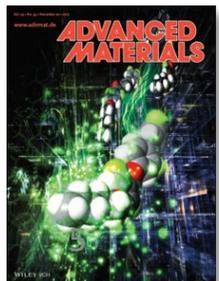


- 誘電率10000超の破格の分極特性を示す極性ネマチック相
  - ネマチック相(誘電率100)と極性ネマチック相(誘電率10000)
- ➔ 光誘起相転移を利用して2種の相を空間的に高速スイッチ

DIOに関する論文

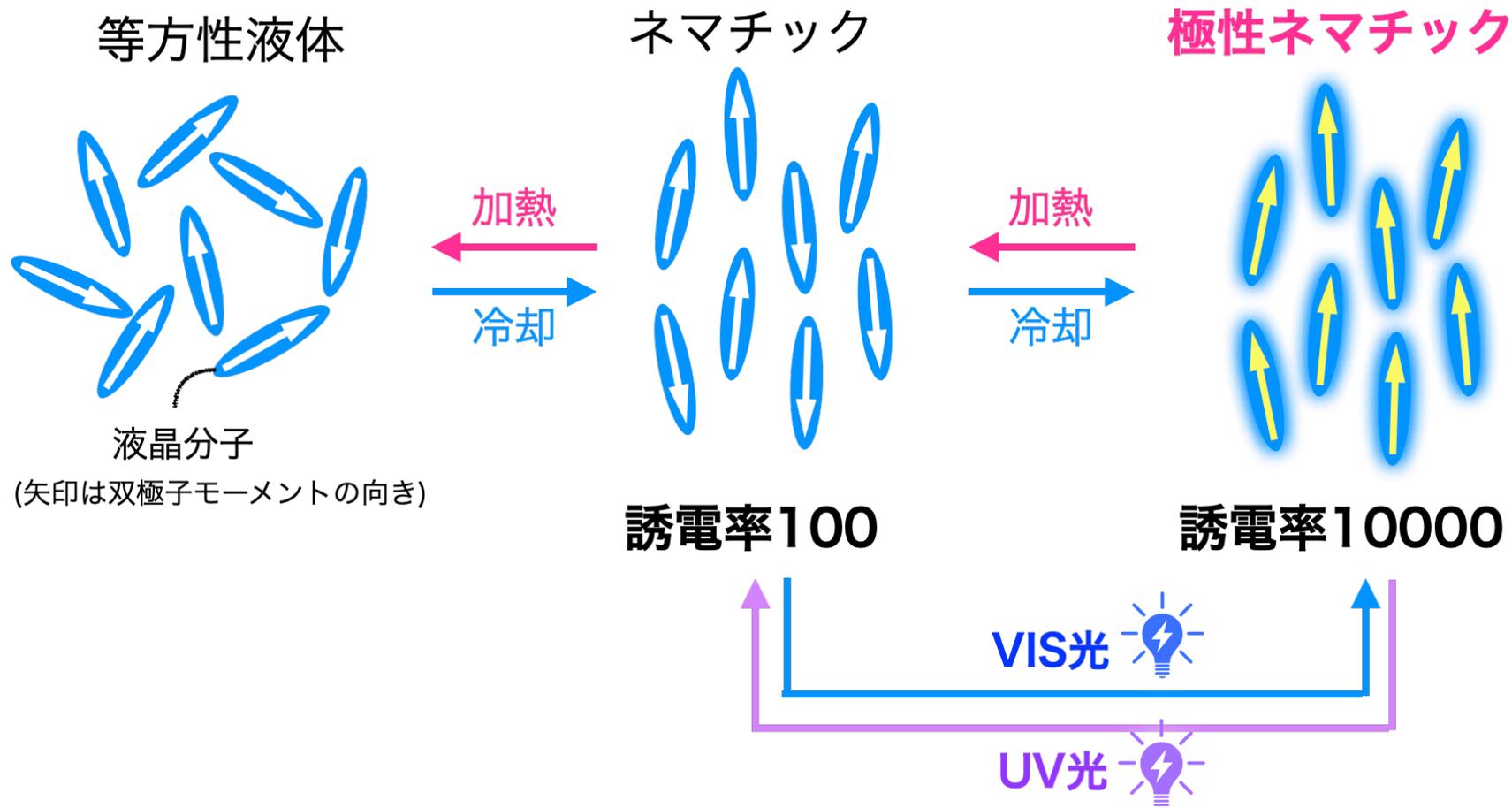
H. Nishikawa et. al., *Adv. Mater.* (2017)

H. Nishikawa et. al., *Sci. Adv.* (2021)



# フォトバリアブルキャパシタの原理②

## 巨大分極流体 (DIO)



光誘起相転移

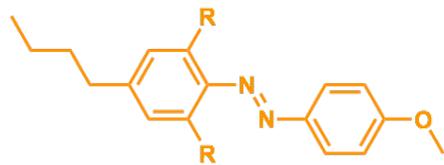
\*光応答性添加剤  
が別途必要

# フォトバリアブルキャパシタの原理③

混合物



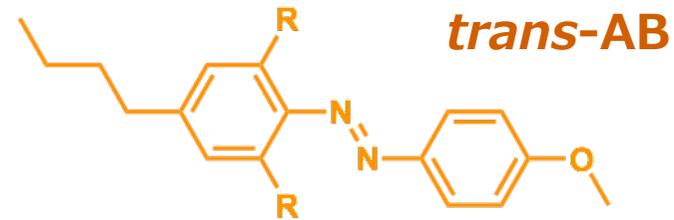
LC: DIO



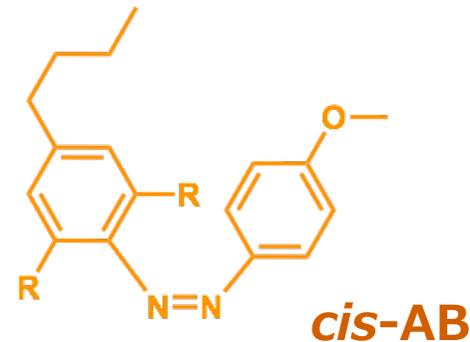
光応答性添加剤 (AB)

R = H: BMAB  
 = Me: BDMAB

光誘起構造変化



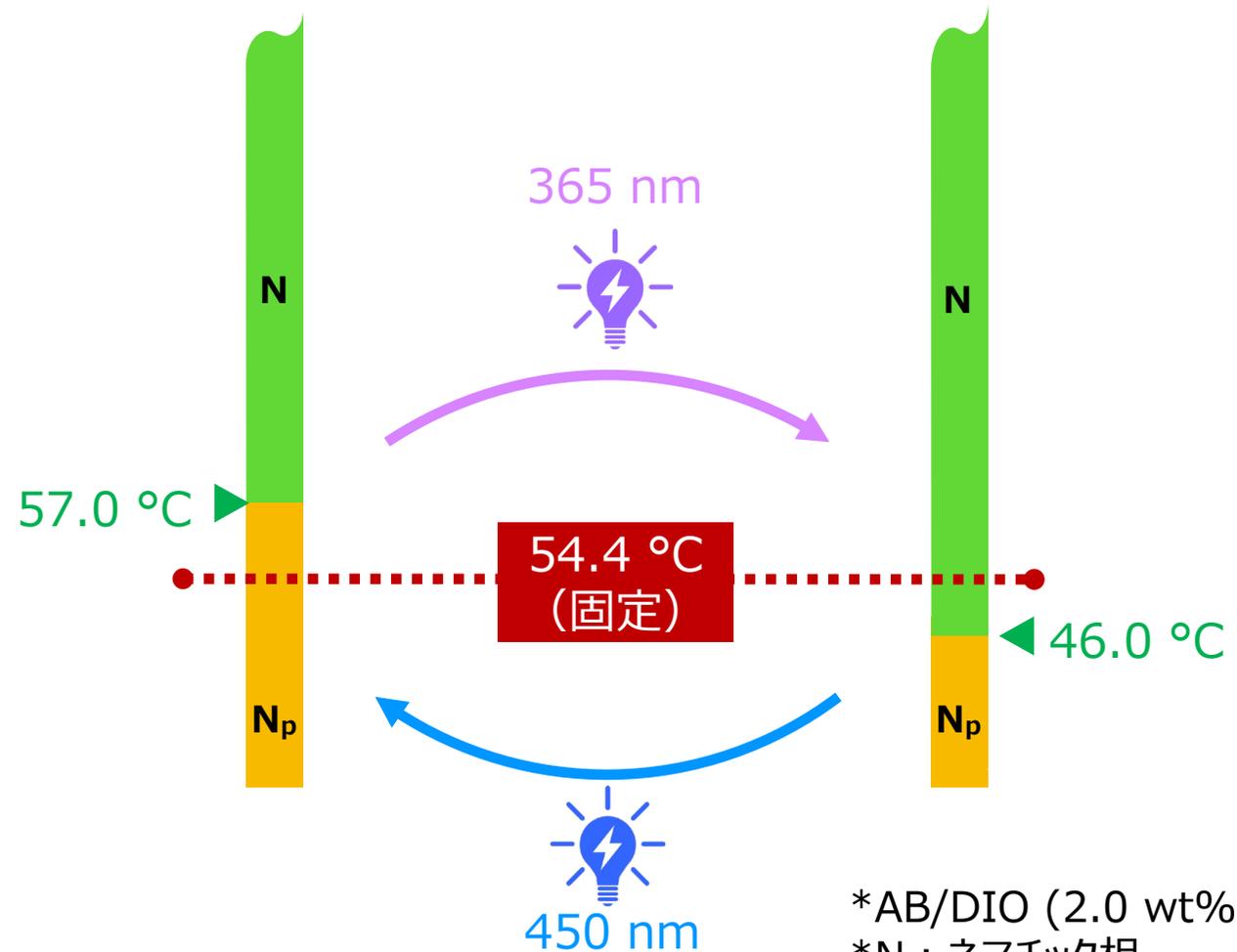
大きな体積変化  
 大きな極性変化



# フォトバリアブルキャパシタの原理④

## 光誘起相転移

- アゾベンゼンの光異性前後での大きな体積変化により、液晶状態の秩序が大きく変化
- 極性ネマチック相の温度範囲が低温側にシフトし、発現温度範囲が狭くなる
- 温度は同じであるが、光で相が切り替わり、異なる誘電率変調が実現する

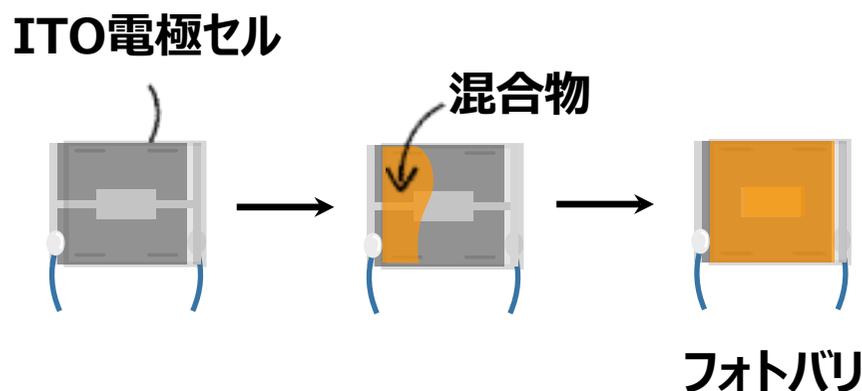


\*AB/DIO (2.0 wt%)

\*N：ネマチック相

\*Np：極性ネマチック相

# フォトバリアブルキャパシタの作製法



- ① 母液晶と光応答性添加剤を混合する。<sup>\*1</sup>
- ② 混合物をITO電極セルに注入する。<sup>\*2</sup>

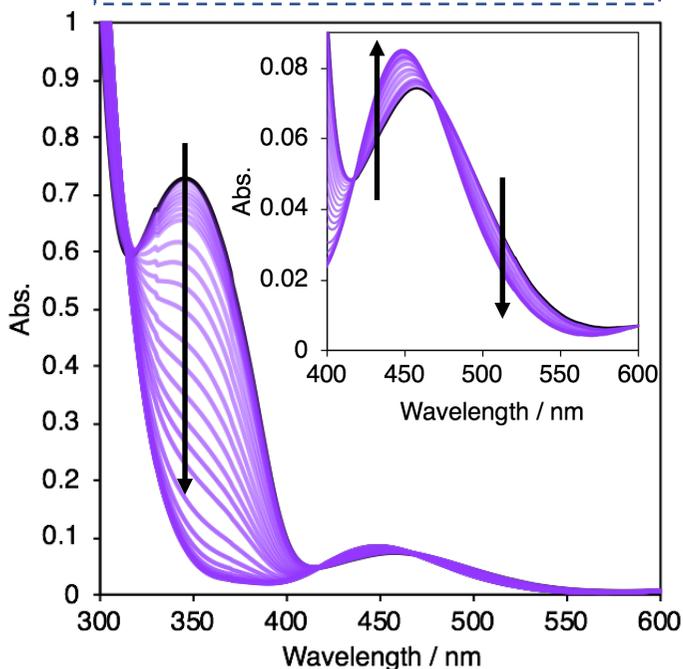
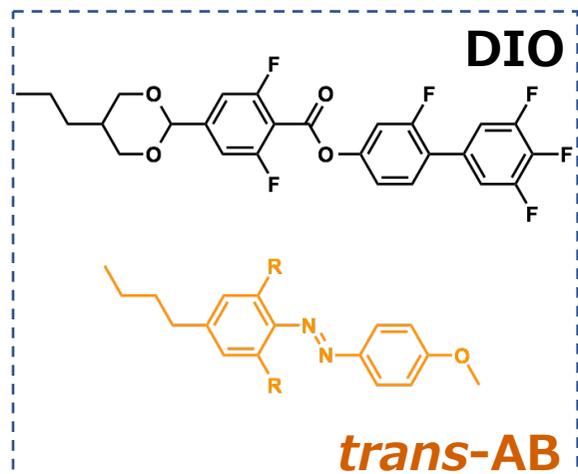
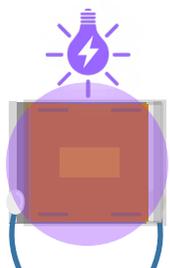
\*1) 好ましくはAB 2 wt%添加

\*2) 120 °C下で混合サンプルをITO電極セル(電極面積50mm<sup>2</sup>, 厚み13.4 μm, 垂直配向膜塗布)に注入して評価セルを作製

# 新技術の特徴 - 詳細 ① -

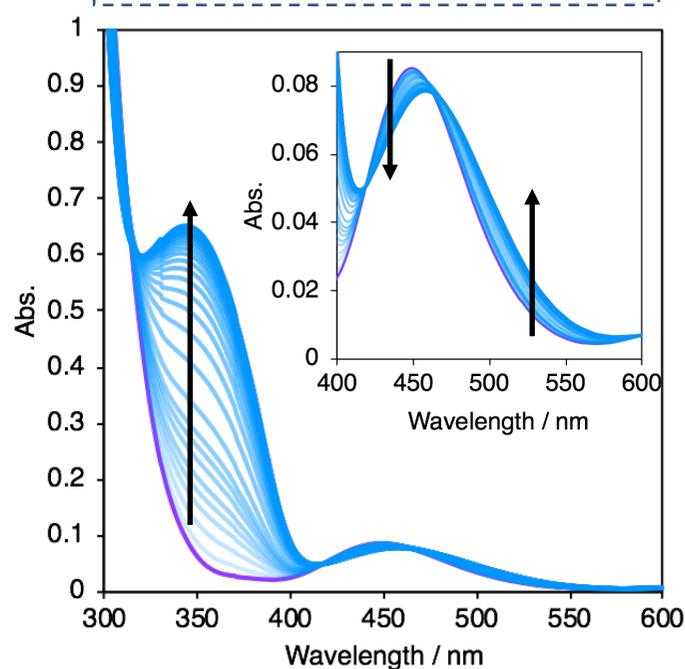
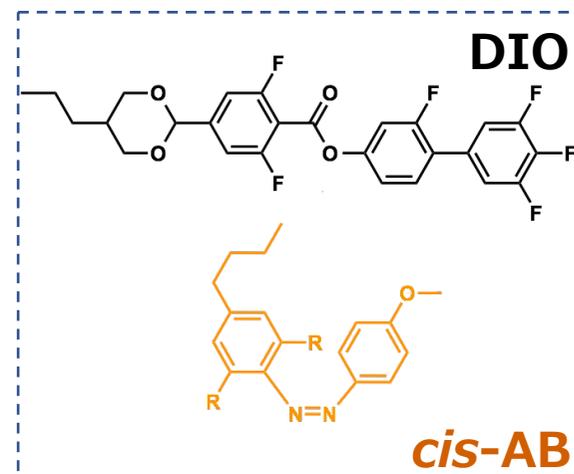
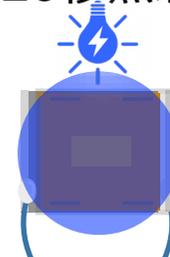
## 光応答能

UV光  
2.3  
mW/cm<sup>2</sup>  
30秒照射



UV光  
⇌  
Vis光

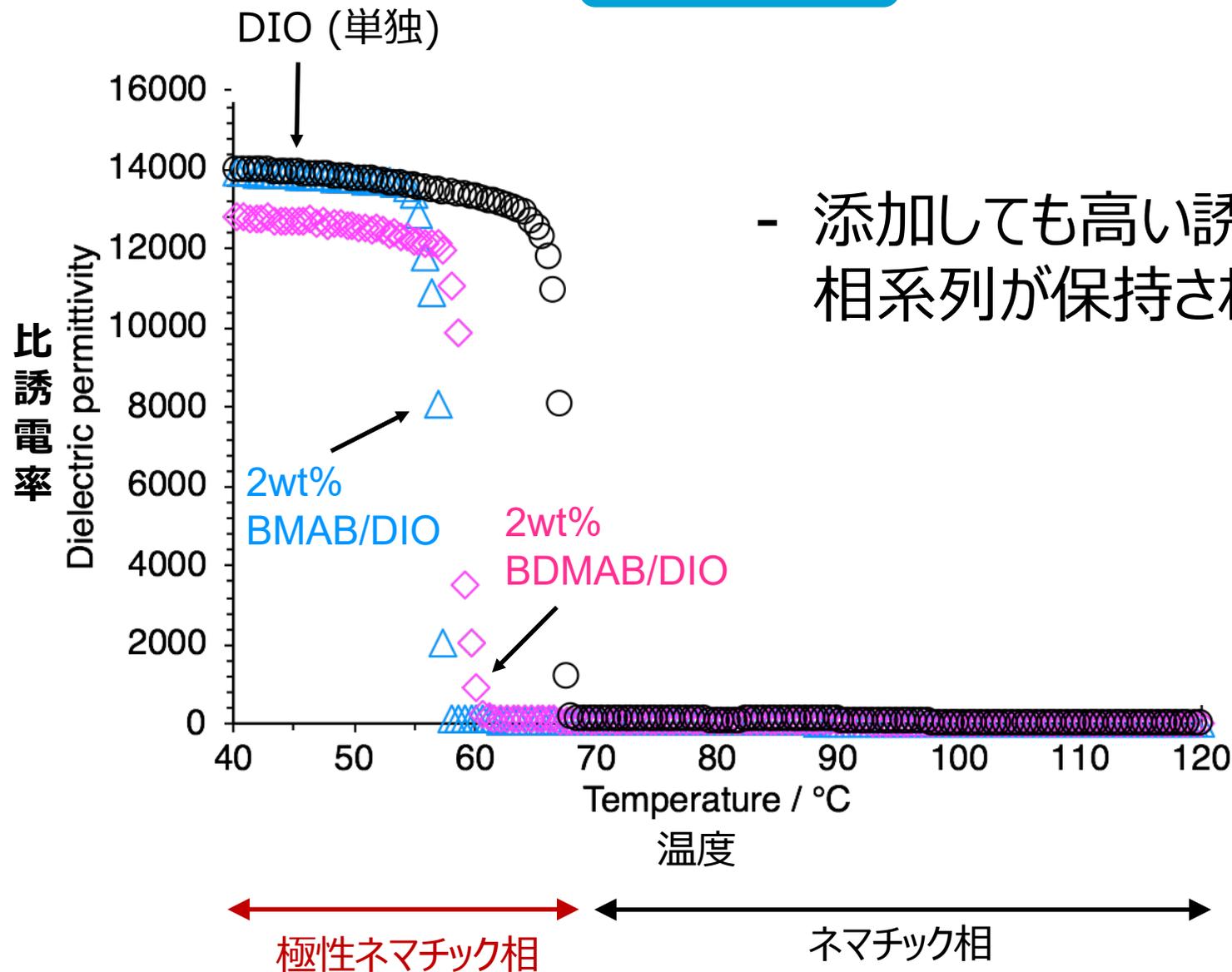
Vis光  
3.0  
mW/cm<sup>2</sup>  
20秒照射



- 光応答性添加剤の高い親和性と高速の光応答性

# 新技術の特徴 - 詳細② -

## 誘電特性\*



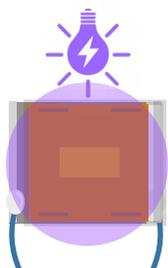
- 添加しても高い誘電特性や相系列が保持される

\* 13.4  $\mu\text{m}$   
 フィルム, 測定  
 周波数1 kHz

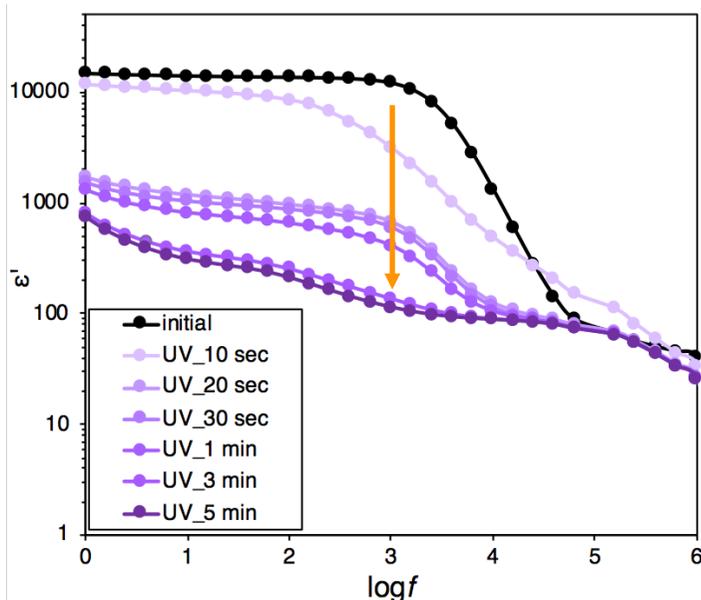
# 新技術の特徴 - 詳細③ -

## 誘電特性\*

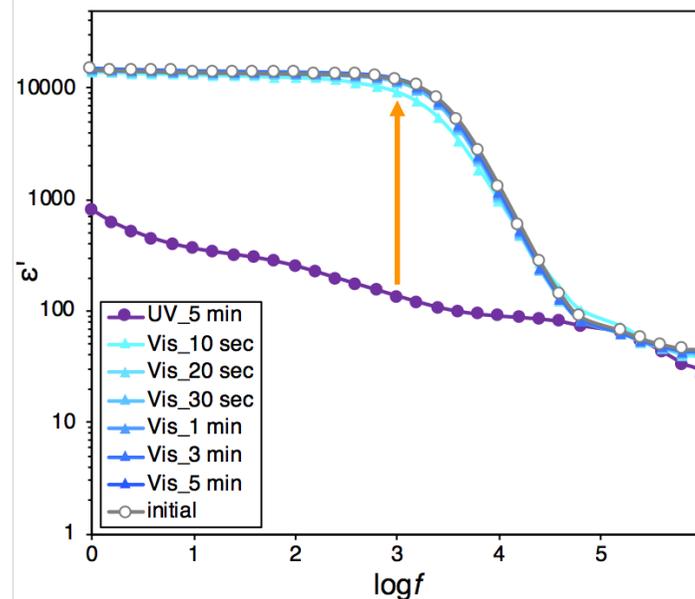
UV光  
2.3  
mW/cm<sup>2</sup>  
30秒照射



比誘電率

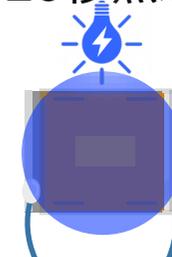


周波数



周波数

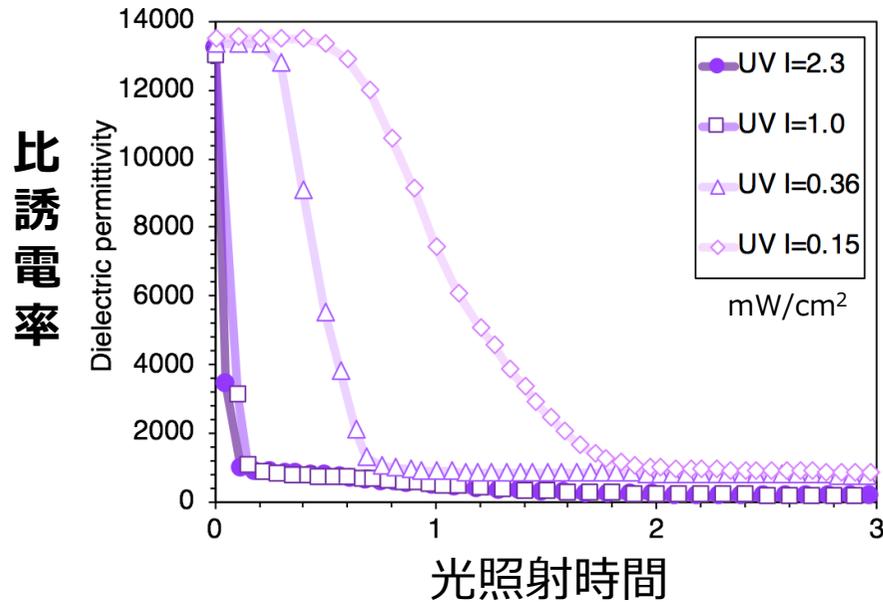
Vis光  
3.0  
mW/cm<sup>2</sup>  
20秒照射



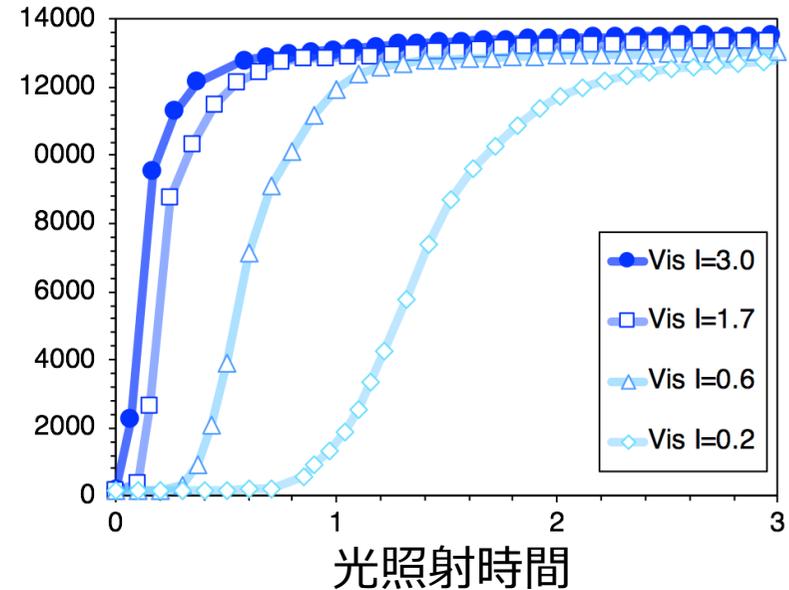
- 往復3分程度で比誘電率10000 ~ 100をスイッチ
- 光によって空間的に高速に誘電特性を2桁大変調

# 新技術の特徴 - 詳細④ -

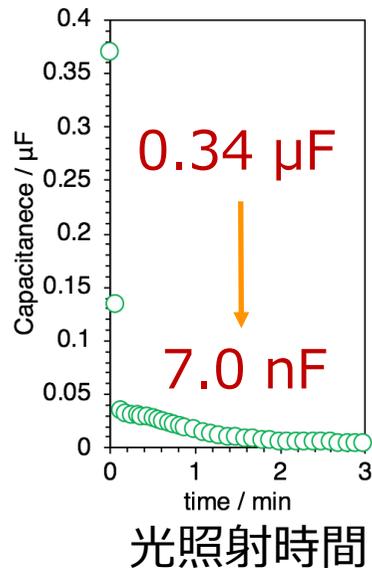
## 誘電特性\*



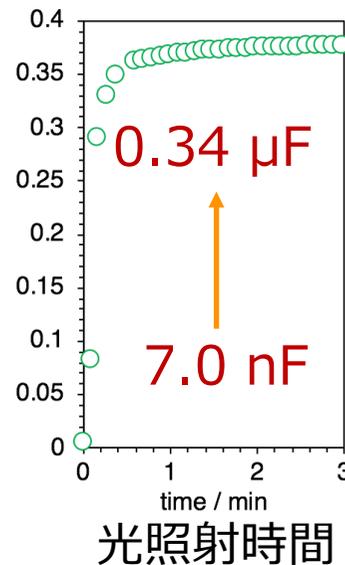
UV光  
 ⇌  
 Vis光



静電容量



UV光  
 ⇌  
 Vis光

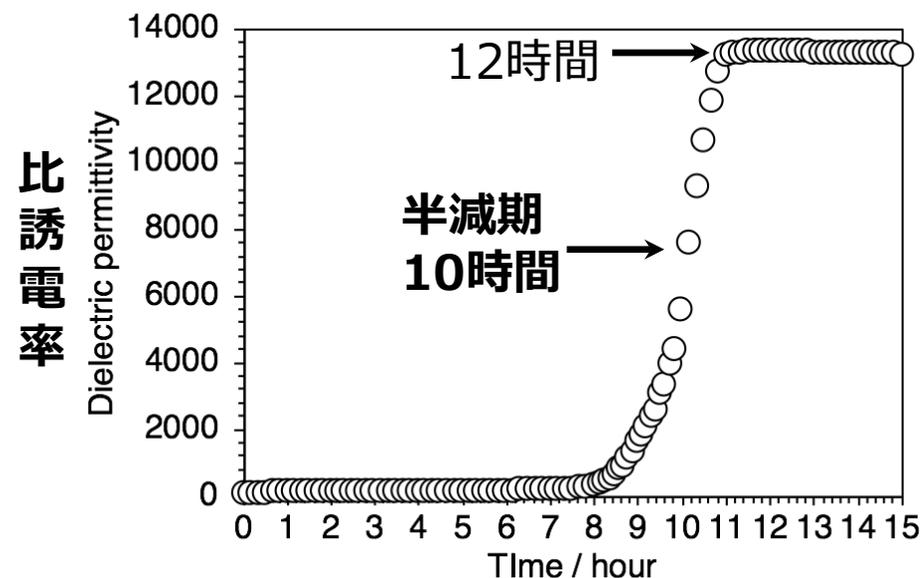
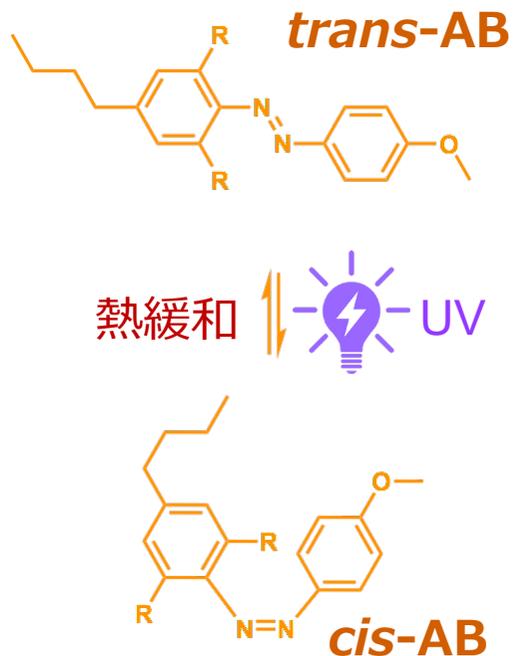


- 照射強度による変調度合いも制御可能
- 0.34  $\mu\text{F}$  ~ 7 nF の 2桁光変調を実現

\* BDMAB/DIO (2 wt%), 13.4  $\mu\text{m}$  フィルム, 56°C, 1 kHz

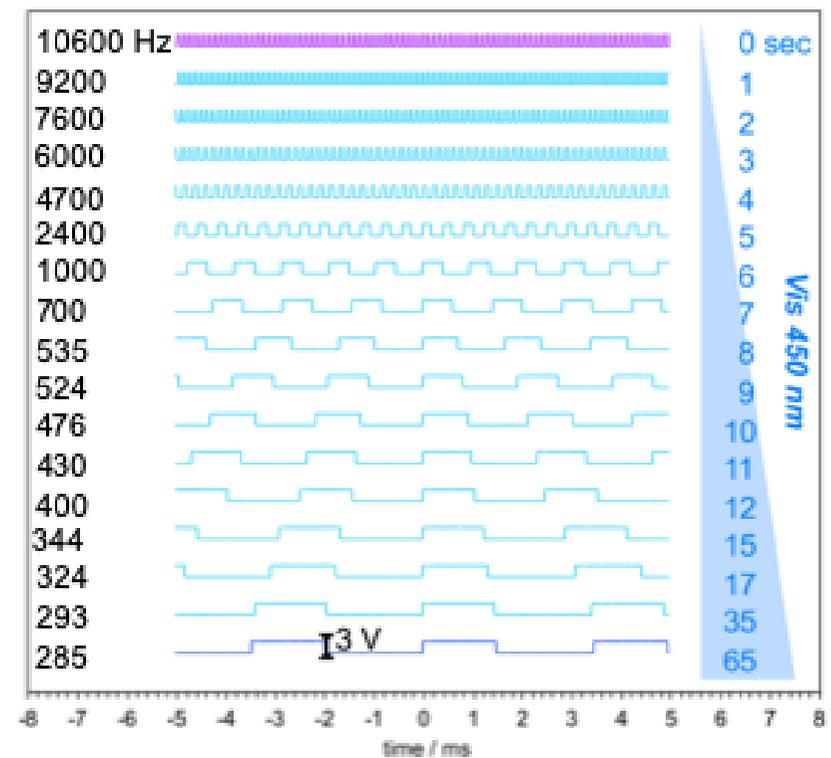
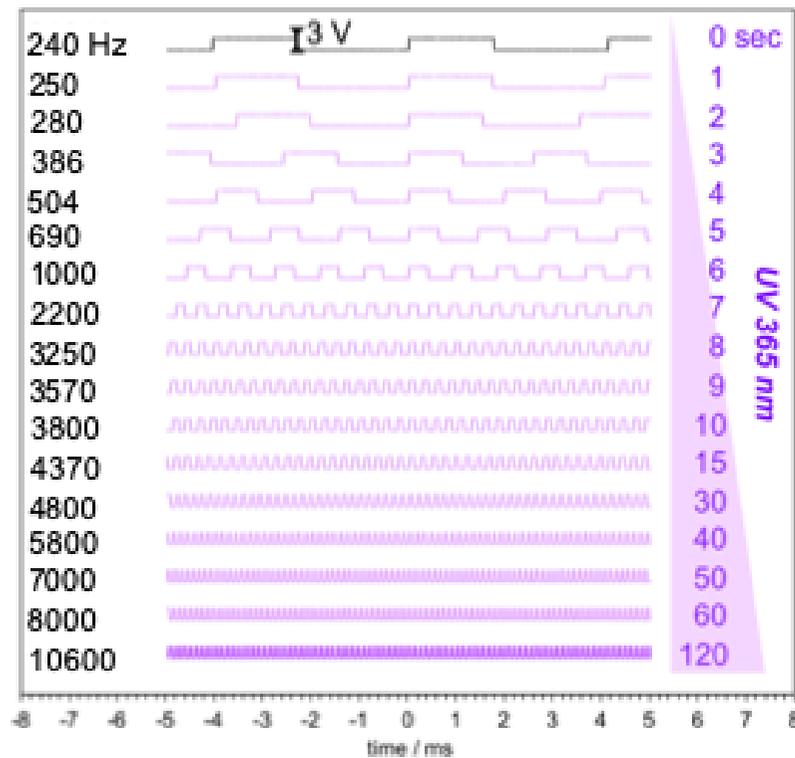
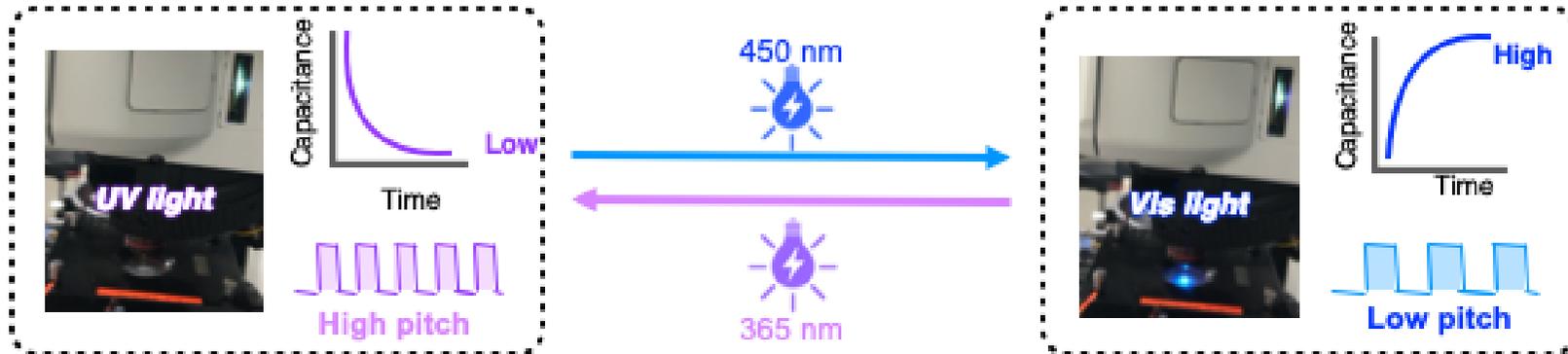
# 新技術の特徴 - 詳細⑤ -

## 誘電特性\*



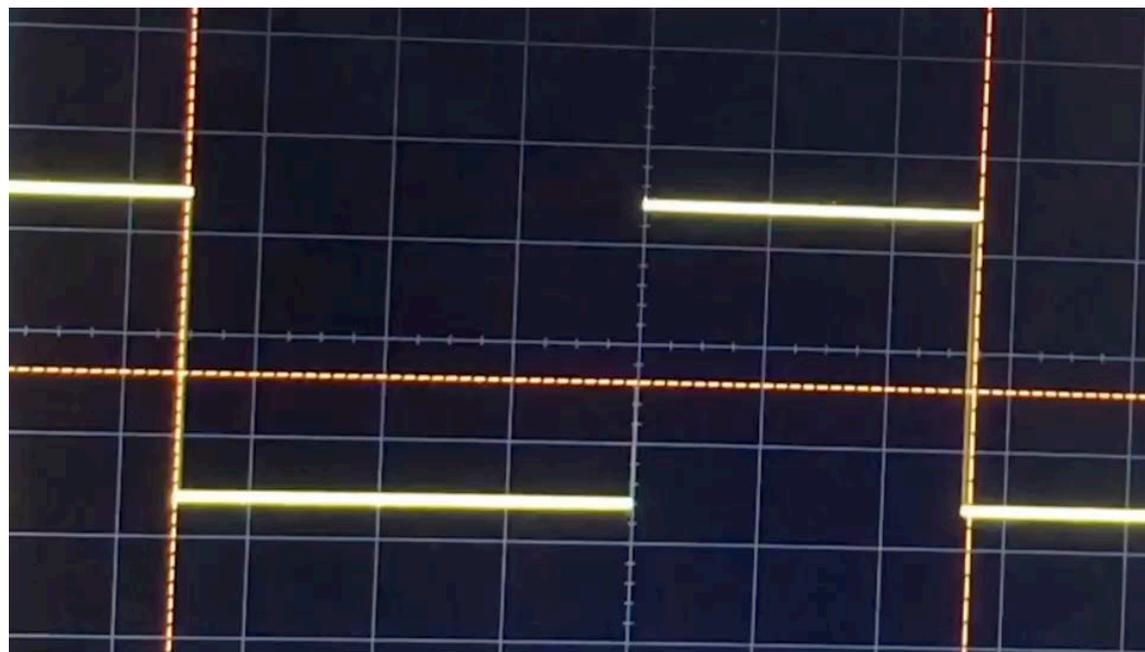
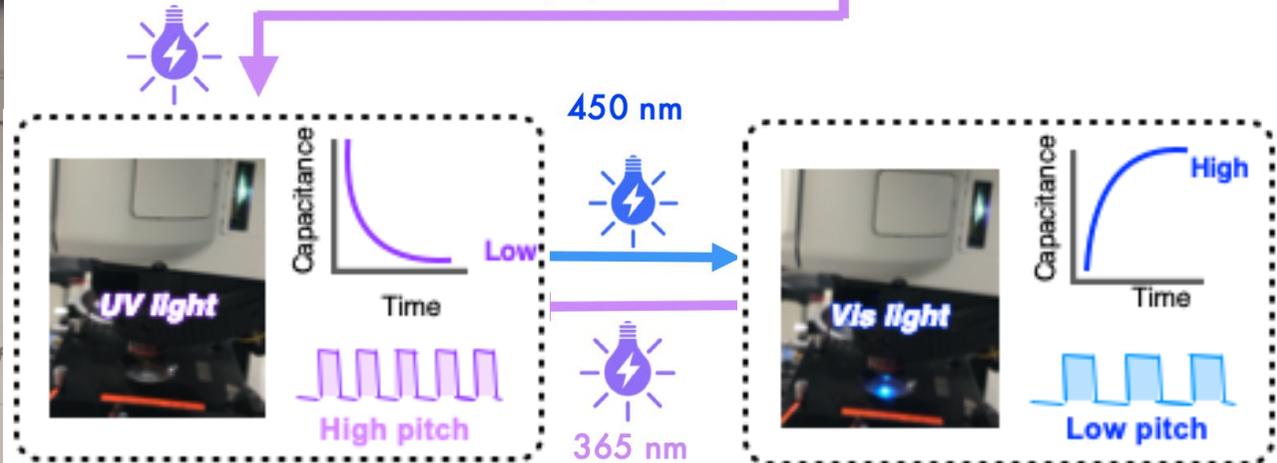
- 変調後の誘電率を長期間保持可能

# 新技術の特徴 - 詳細⑥ -



- キャパシタンスの光変調機能を利用して発振周波数を大変調

# 動画スライド



## 想定される用途

- 大容量の充放電が可能、急速充放電が可能なキャパシタとして
- 静電容量式フォトスイッチ、センサーとして（静電容量変化を検知する回路など）
- フレキシブル電極と組み合わせてウェアラブルデバイスなどの柔軟性が要求されるデバイス用素子として

# 実用化に向けた課題

- 空間的に光で誘電率/静電容量を2桁可変できる素子までは開発済み。しかし、駆動温度や駆動周波数が限定されている。
- フォトバリアブルキャパシタは紫外光を利用するため、人体装着型のウェアラブルデバイスに応用するためには紫外光を使わない添加剤の開発が必要。
- ITO電極ガラスセル以外では未実施。フレキシブルフィルムに注入した際の検証が必要。

## 企業への期待

- キャパシタを含むデバイス素子製作技術をもつ企業様との共同研究を希望
- ウェアラブルデバイスを模倣中・開発中の企業様、次世代型デバイスに向け、新たな付与価値の展開を考えている企業様との共同研究を希望

# 本技術に関する知的財産権

発明の名称 : 誘電体材料、及びキャパシタ  
出願番号 : 特願2020-137063  
出願人 : 理化学研究所  
発明者 : 荒岡 史人、西川 浩矢

# お問い合わせ先



**株式会社理研鼎業**（りけんていぎょう）  
戦略企画部（理研新技術説明会事務局）  
E-mail: [senryaku@innovation-riken.jp](mailto:senryaku@innovation-riken.jp)

※ 連携に関する窓口は、理化学研究所より委託を受けて実施しております。