

強誘電性ブルー相液晶のサブマイクロ秒電界応答

Sub-microsecond Response in Ferroelectric Blue Phase Liquid Crystal

15a-P02-4

仲嶋 一真¹, 上藤 大和¹, 菊池 裕嗣², 尾崎 雅則¹

¹ 大阪大学大学院工学研究科, ² 九州大学 先端物質化学研究所

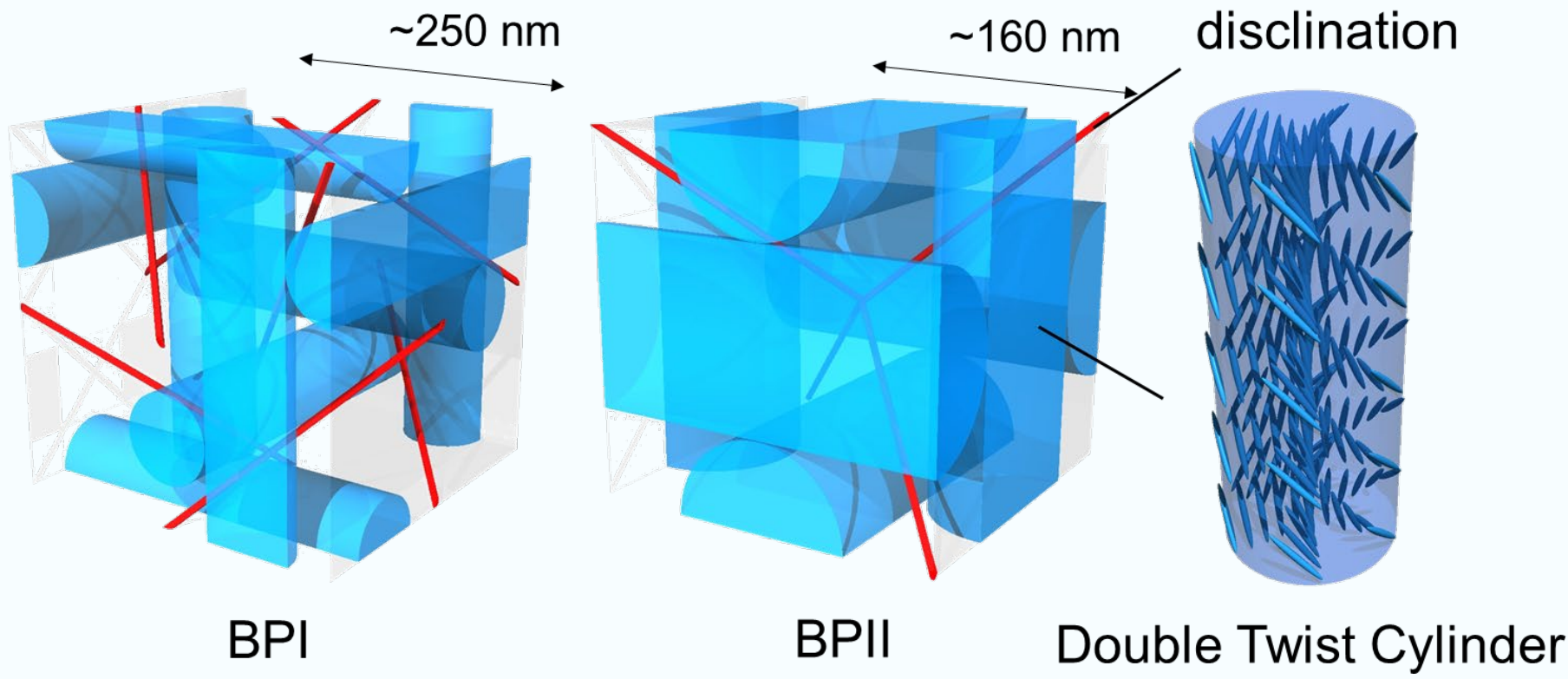
E-mail: knakajima@opal.eei.eng.osaka-u.ac.jp



研究背景

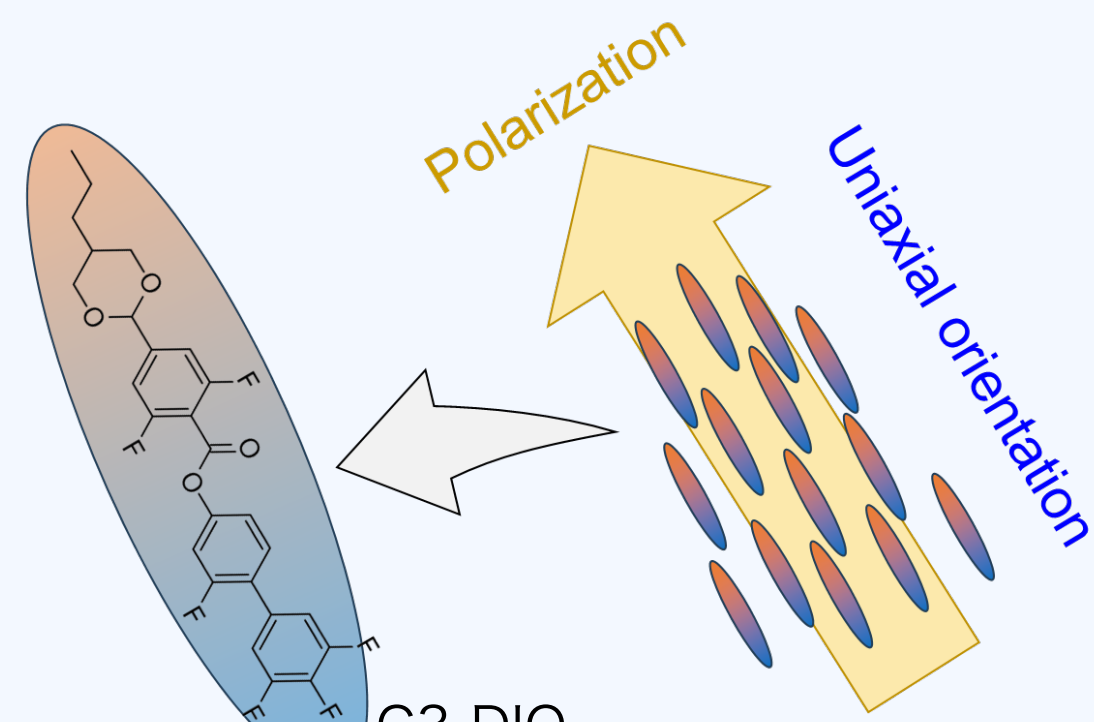
ブルー相液晶 (BPLC)

- 3次元螺旋周期構造を自己組織するキラル液晶相。
- 光学的等方性や高速応答性からディスプレイや偏光無依存位相変調素子への応用が期待。
- 電界応答性の低さに課題。



強誘電性ネマティック液晶 (NFLC)

- 一軸配向し、長軸方向に分極。
- 自発分極: 数 $\mu\text{C}/\text{cm}^2$, 誘電率異方性: 10000以上。

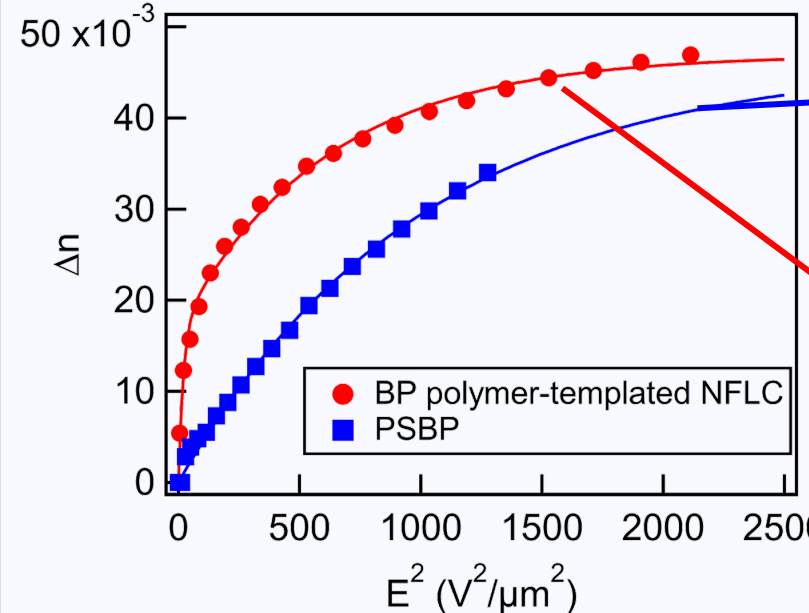


H. Nishikawa *et al.*, *Adv. Mater.*, 29, 1 (2017).

BPポリマーテンプレートNFLC (BPPT-NFLC)

K. Nakajima *et al.*, *ACS Appl. Mater. Interfaces*, 16, 66552 (2024).

- BPポリマーネットワークにNFLCを注入することで作製。
- BP構造と強誘電性とを両立し、電気光学効果を向上。



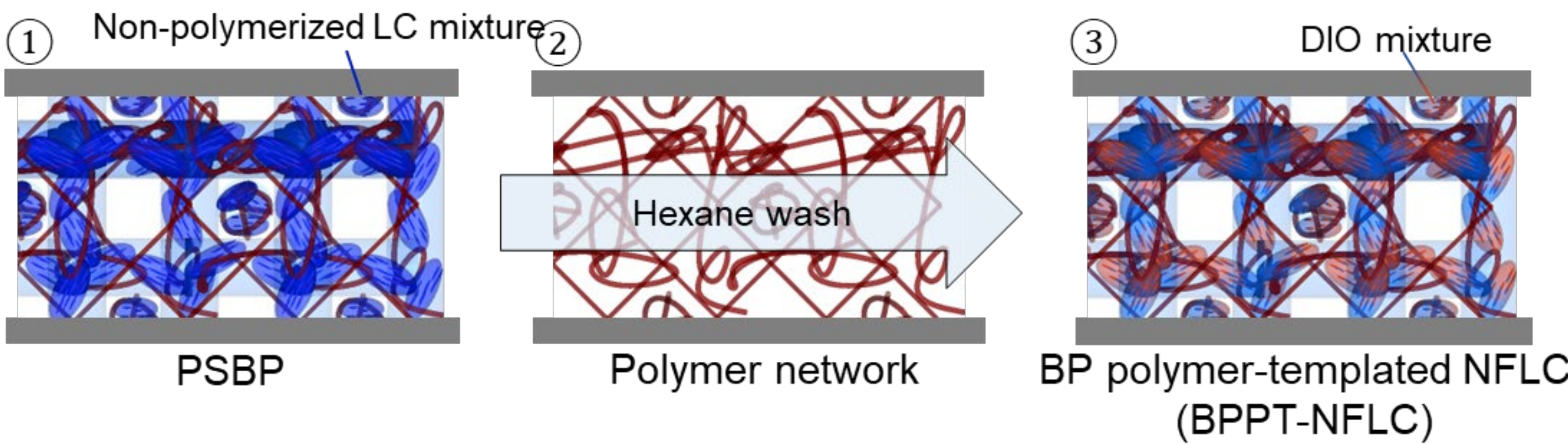
PSBP (NFLC注入前)
 $K = 7.38 \times 10^{-2} \text{ nm/V}^2$
BPPT-NFLC (60°C)
 $K = 1.36 \text{ nm/V}^2$
15倍以上

本研究の目的:
BPPT-NFLCの電気光学応答の詳細を明らかにするとともに、強誘電性由来の応答を利用して高速複屈折変調を実現

実験手法

素子作製

- BPのポリマー安定化技術によってポリマーネットワーク作製。
- 非重合LCをヘキサンに1週間浸して洗浄。
- NFLC (DIO混合物) をポリマーネットワークに注入。



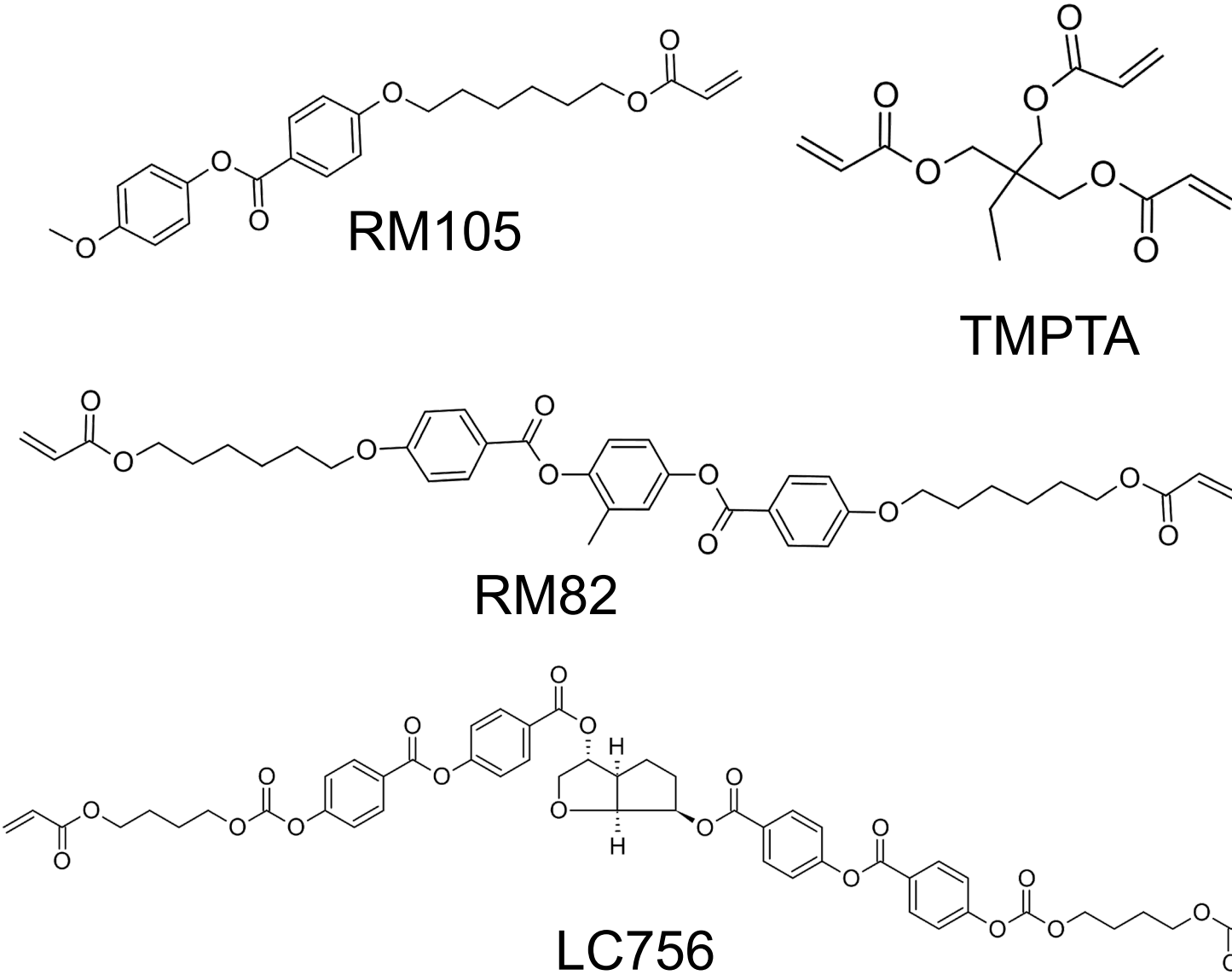
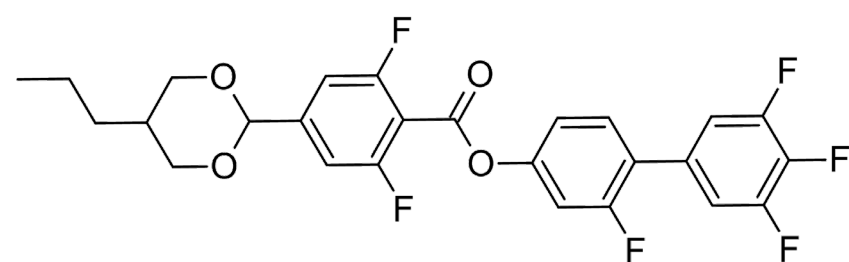
液晶材料

BP液晶材料

Nematic LC	5CB	35.5 wt%
	MLC-6849-100	35.5 wt%
Reactive mesogen	RM82	6 wt%
	RM105	10 wt%
Non-mesogenic monomer	TMPTA	6.0 wt%
Polymerizable chiral agent	LC756	6.0 wt%
Polymerization initiator	Irgacure819	1.0 wt%

NFLC材料

DIO mixture

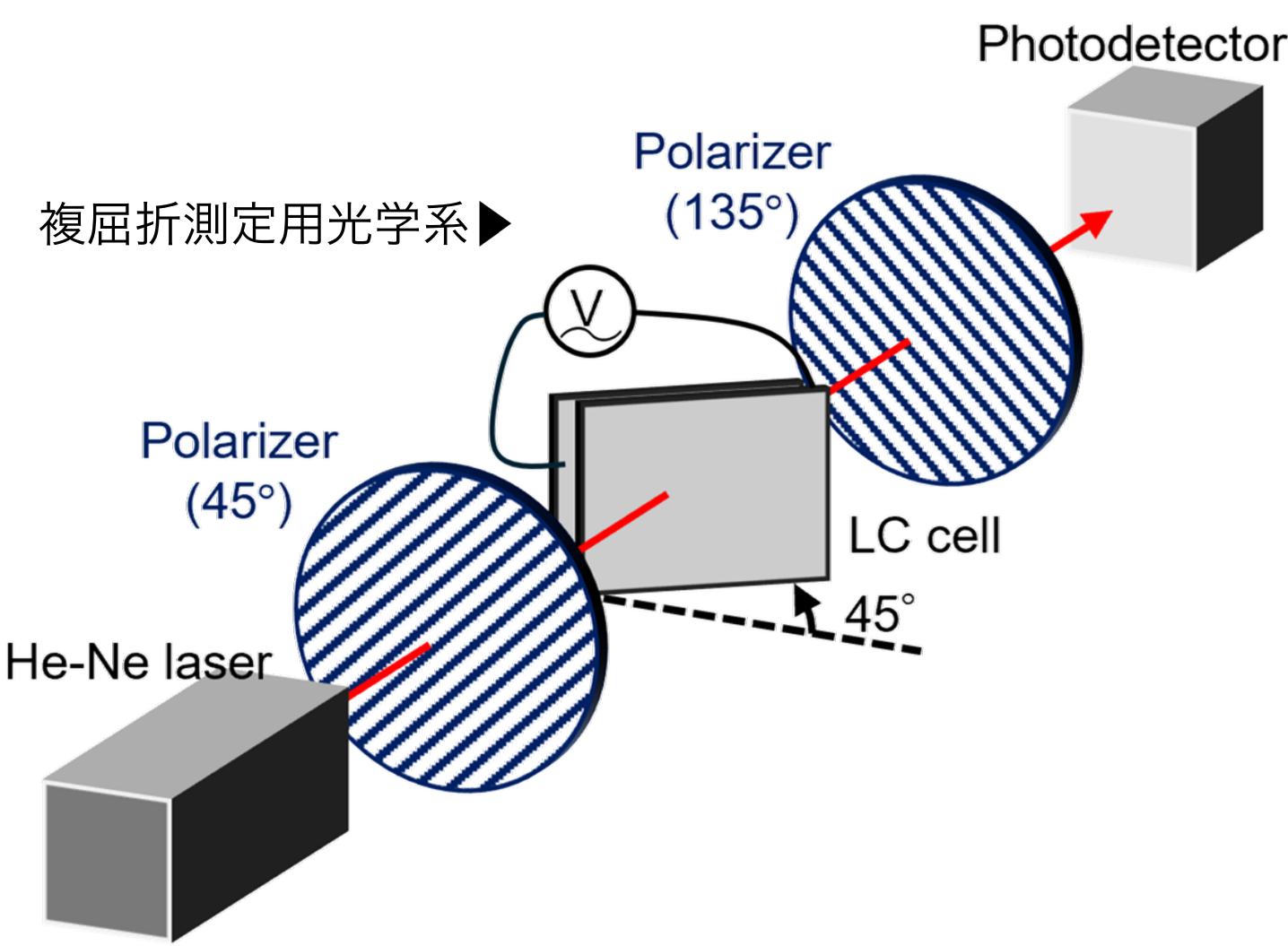


電気光学応答の測定

二次の電気光学効果 (Kerr効果)

$$\Delta n = \lambda K E^2$$

Δn : 複屈折, λ : 測定波長, K : Kerr定数



従来の拡張Kerr効果モデル (高電界印加時の複屈折変調)

(J. Yan *et al.*, *Appl. Phys. Lett.*, 96, 071105 (2010).)

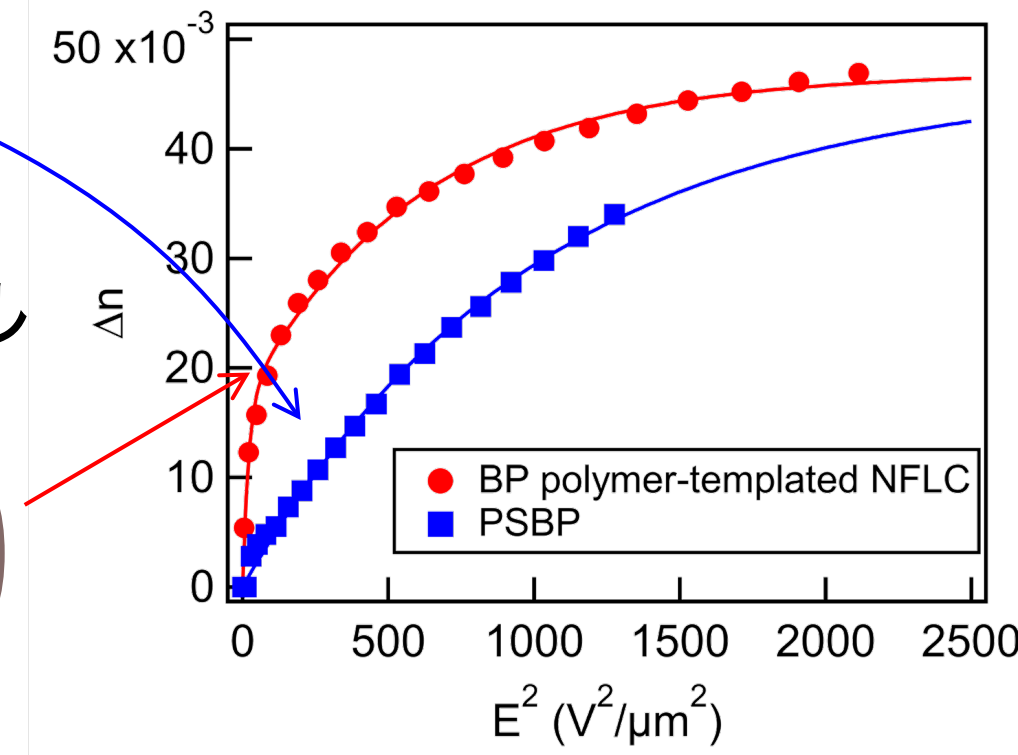
$$\Delta n = \Delta n_{\text{sat}} \left(1 - \exp \left[- \left(\frac{E}{E_{\text{sat}}} \right)^2 \right] \right)$$

$$\text{Kerr定数: } K = \frac{\Delta n_{\text{sat}}}{\lambda E_{\text{sat}}^2}$$

BPPT-NFLC用に改良した拡張Kerr効果モデル

$$\Delta n = \Delta n_{\text{sat}} \left(1 - A1 \exp \left[- \left(\frac{E}{E1_{\text{sat}}} \right)^2 \right] - A2 \exp \left[- \left(\frac{E}{E2_{\text{sat}}} \right)^2 \right] \right)$$

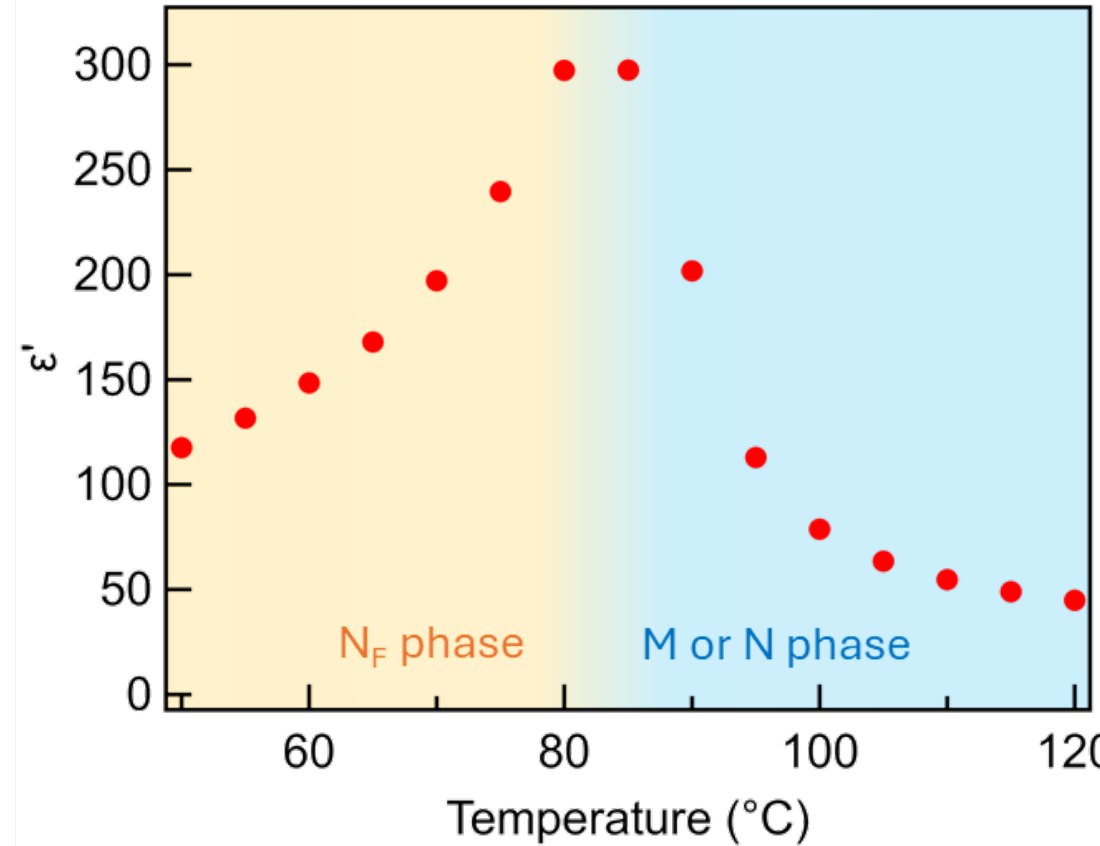
$$\text{Kerr定数: } K = \frac{\Delta n_{\text{sat}}}{\lambda} \left(\frac{A1}{E1_{\text{sat}}^2} + \frac{A2}{E2_{\text{sat}}^2} \right)$$



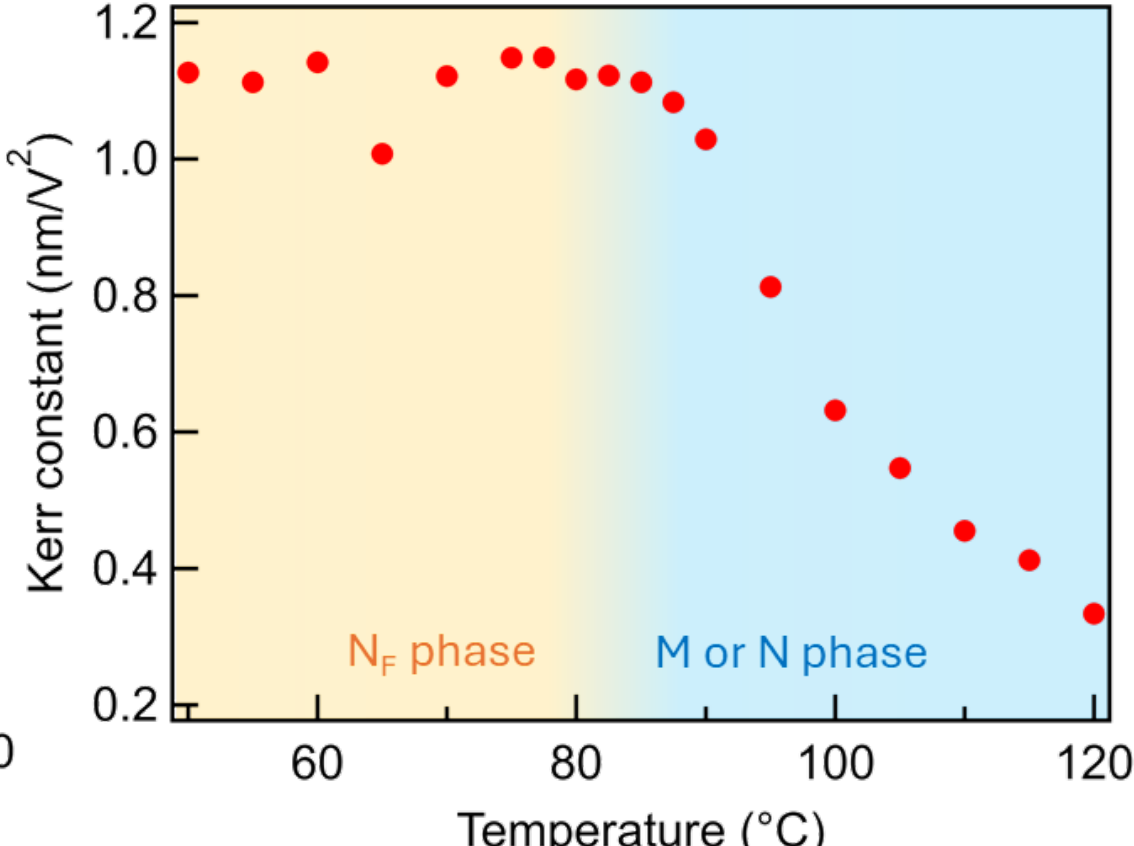
実験結果

カー定数の温度依存性

誘電率の温度依存性

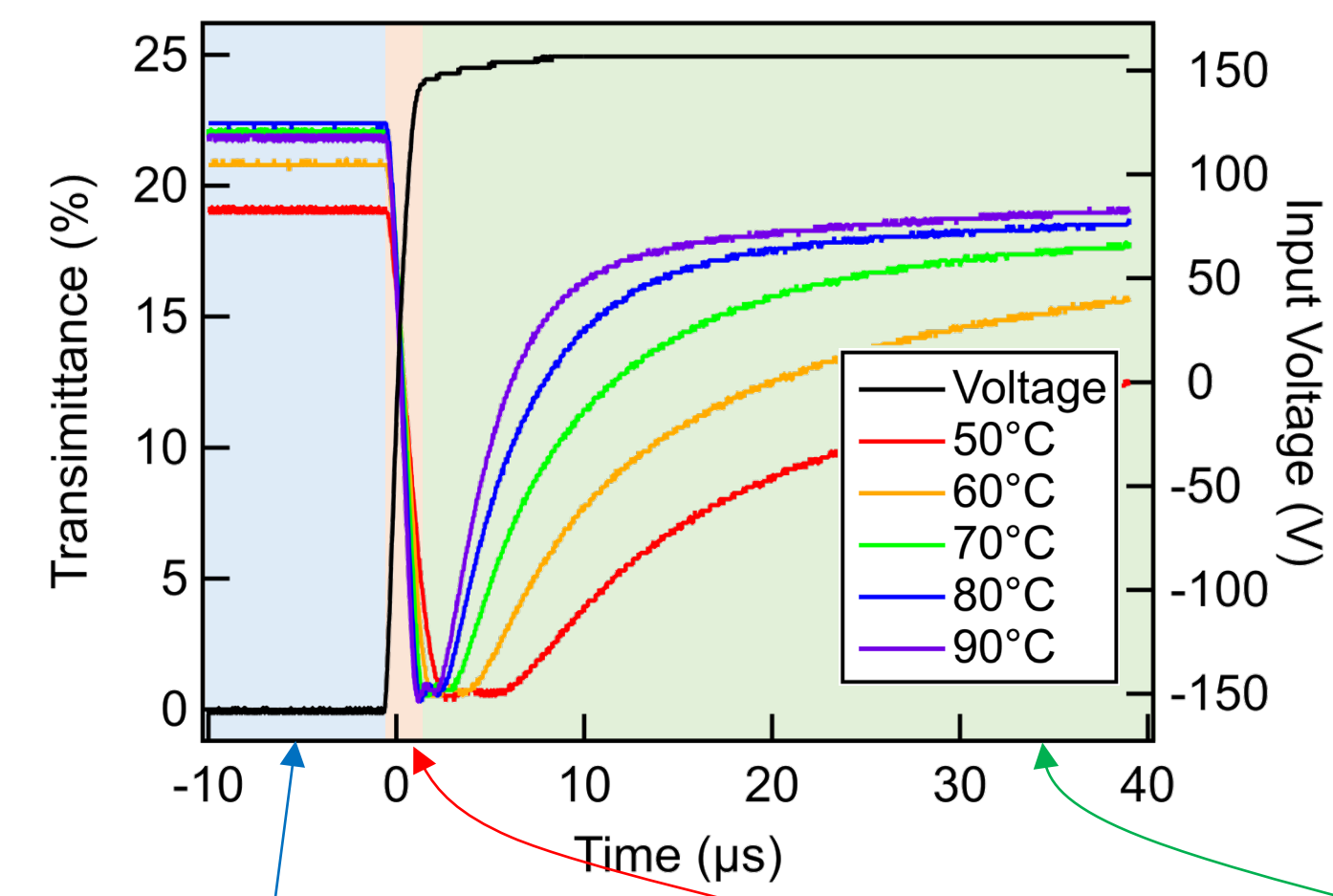


Kerr定数の温度依存性

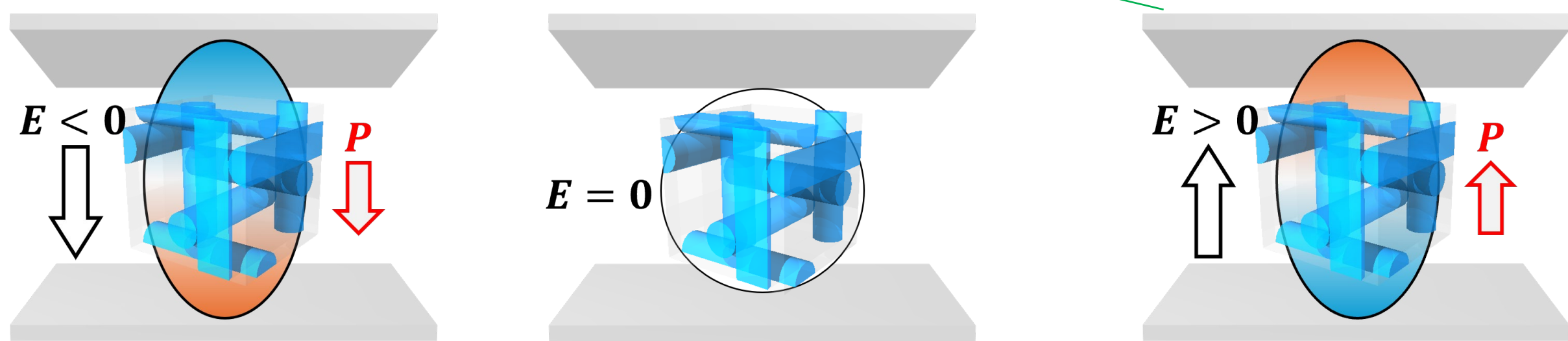


強誘電相でKerr定数が増大 ⇒ 自発分極が電界応答に寄与

分極反転に由来する応答

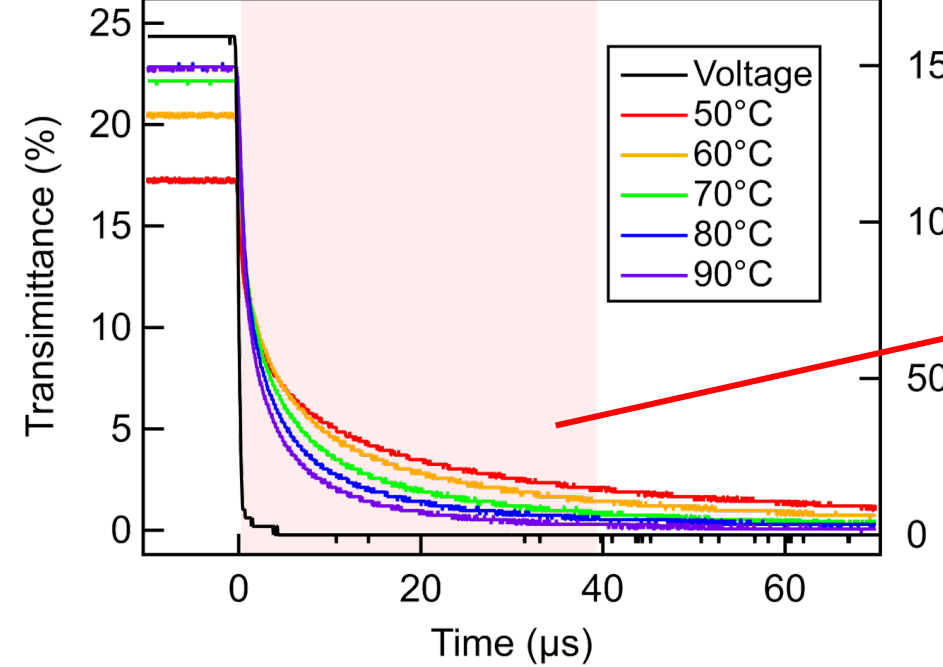


印加電圧の極性が反転
↓
分極が反転
つまり液晶分子が回転
↓
複屈折が急激に減少・回復

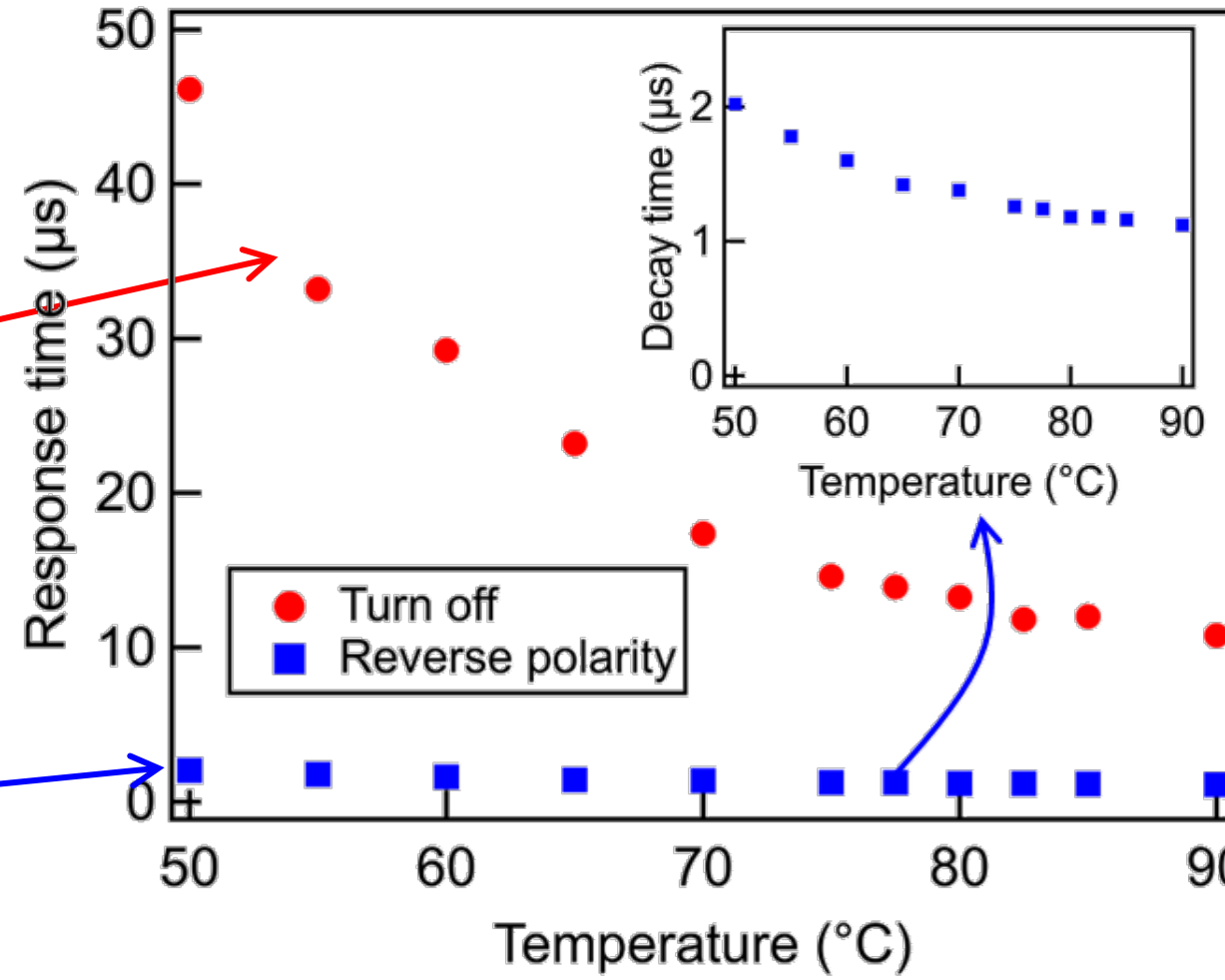


BPPT-NFLCの応答速度

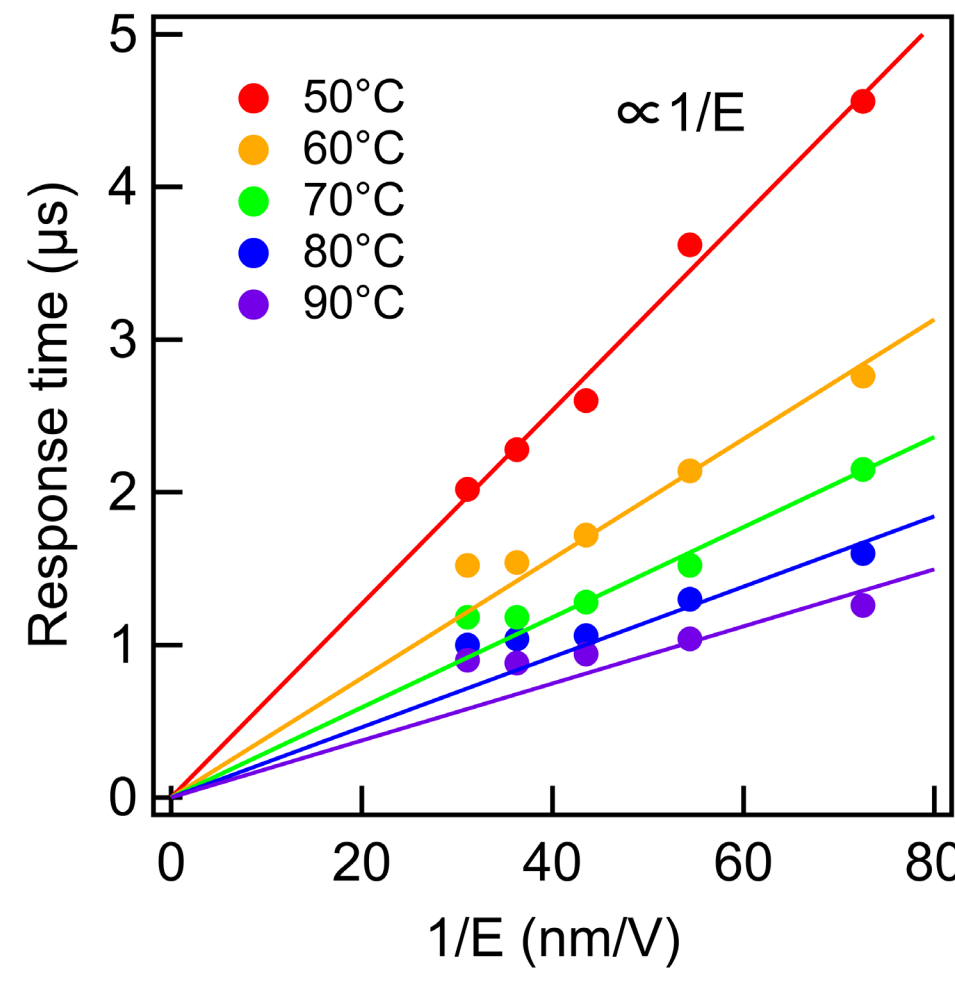
電圧オフ時



透過率の減少に要する時間



応答速度の電界依存性

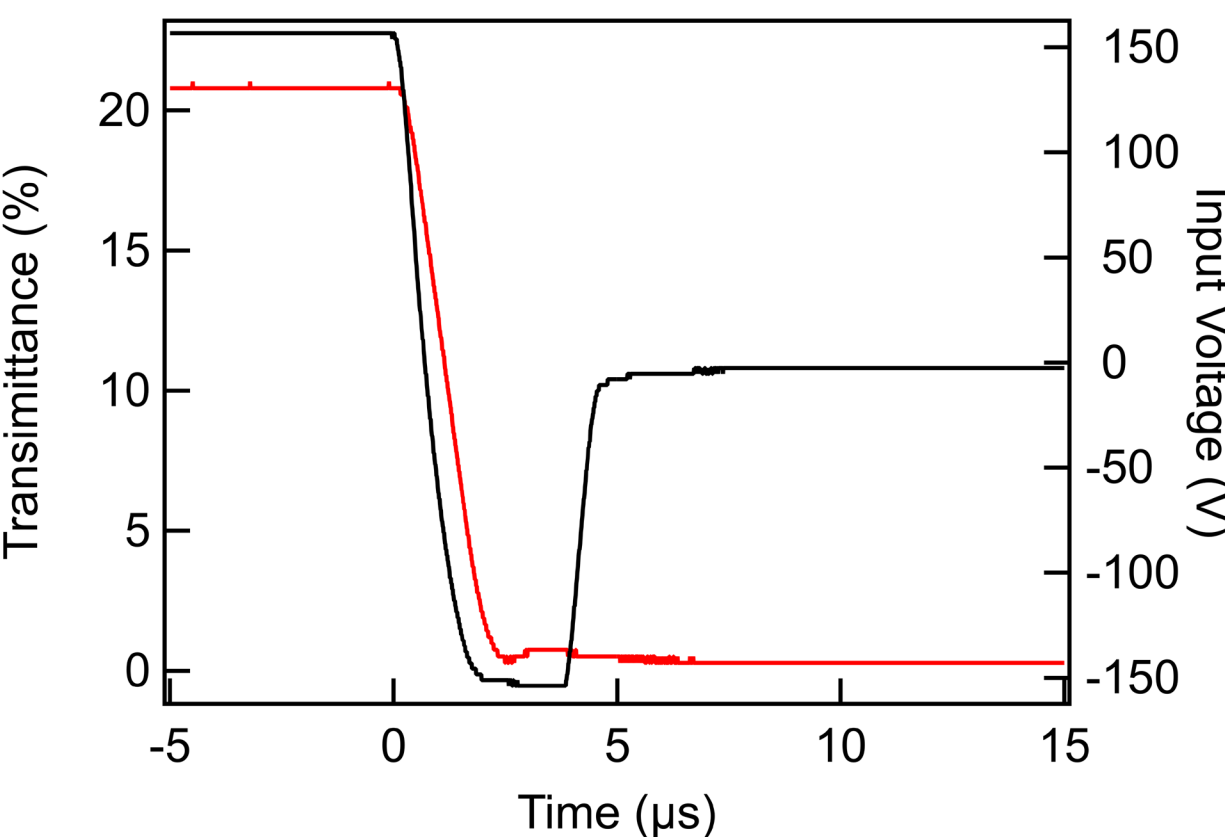


印加電圧の極性反転に伴う複屈折の減少はサブマイクロ秒で応答 (従来の高速応答性BPLC: ~10 μs)

高速複屈折変調

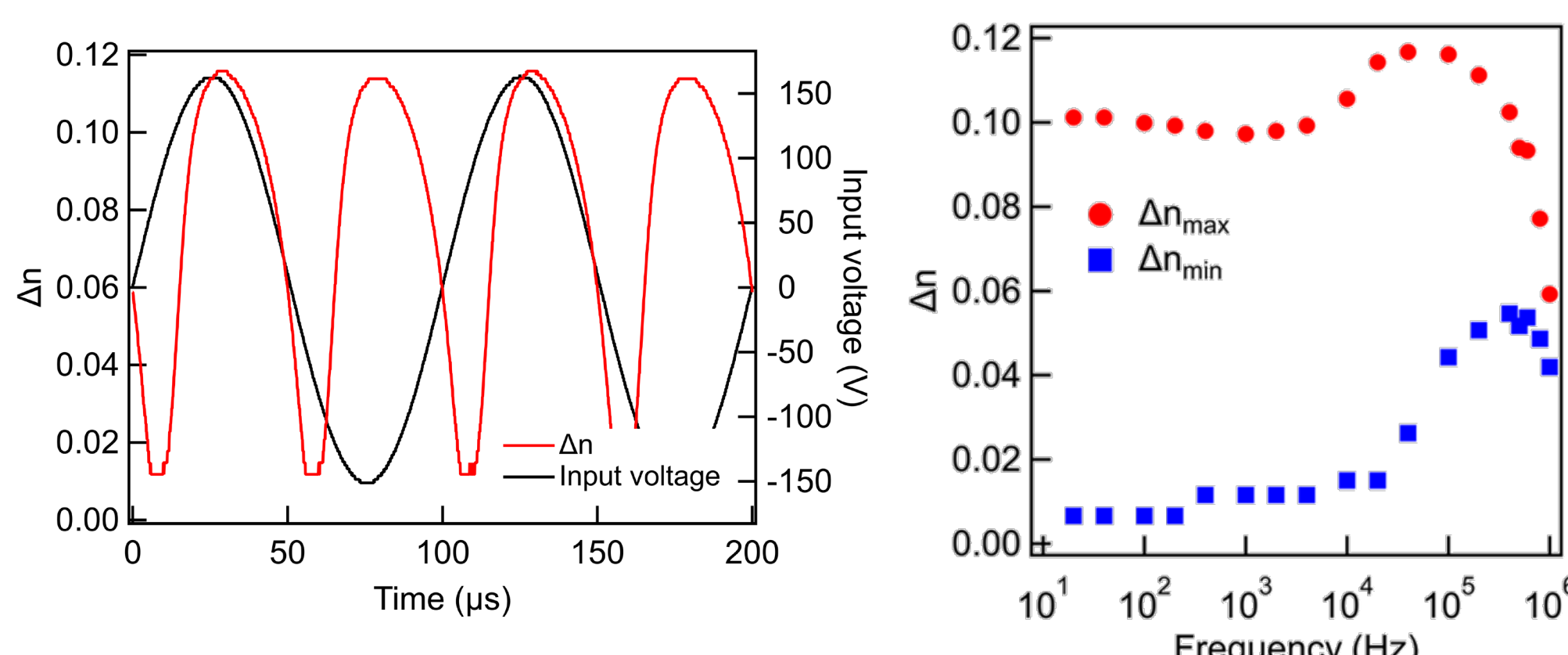
高速オフスイッチング

リバースパルス電圧を印加することによるオフスイッチング。



周期的な複屈折変調

印加周波数の2倍の周波数で0.1を超える複屈折変調 (従来のBPLC: ~0.03)



まとめ

- ✓BPPT-NFLCでは、強誘電性 (自発分極) によってKerr定数が増大することが示された。
- ✓自発分極に由来した印加電圧の極性反転時における複屈折の急減によって、サブマイクロ秒の応答が可能であることが示された。 (従来BPLC: ~10 μs)
- ✓電界誘起複屈折が0.1を超え、複屈折の変調量を大幅に改善した。 (従来BPLC: ~0.03)

K. Nakajima *et al.*, *ACS Appl. Opt. Mater.*, in press, (2025).

Acknowledgements: Partial components of the liquid crystal mixture were provided by JNC Petrochemical Corporation. This work was partly supported by MEXT KAKENHI (23H02038, 18H03920 and 23H00303), and Grant-in-Aid for JSPS Fellows (23KJ1507, 24KJ1622).