

Researcher 전예준, 정우진, 정형민, 표승열 Professor 문태환

ABSTRACT

HfO2 기반 강유전체는 초박막에서도 강유전성을 보이나, 높은 항복 전기장으로 인한 강한 wake up, 낮은 내구성, 낮은 파괴 전기장 등의 문제를 발생 시킨다.

ZrO2 기반 반강유전체에 내부 전계를 도입해 비휘발성 동작을 구현하고, 강유전체 대비 우수한 내구성과 작은 wake-up을 달성한 사례들이 제시되면서 비휘발성 AFE 메모리의 가능성이 제시되었다.

Hf_{1-x}Zr_xO₂ 강유전체 박막에서는 Hf/Zr 조성에 따라 Zr 농도가 증가할수록 특성 스위칭 시간 t₀와 활성화 에너지 Ea가 감소하는 경향이 보고되었다. 그러나 AFE 스위칭이 상 전이를 수반함에도, AFE의 상전이 방향에 대한 스위칭 동역학의 체계적인 분석은 거의 이루어지지 않았다.

본 연구는 반강유전체 커패시터의 반주기 구간에서 Nucleation-Limited Switching(NLS) 모델을 적용해 스위칭 동역학을 정량화하고, First-Order Reversal Curve(FORC) 분석을 통해 상전이 방향에 따른 스위칭 거동의 차이를 해석한다.

OBJECTIVES

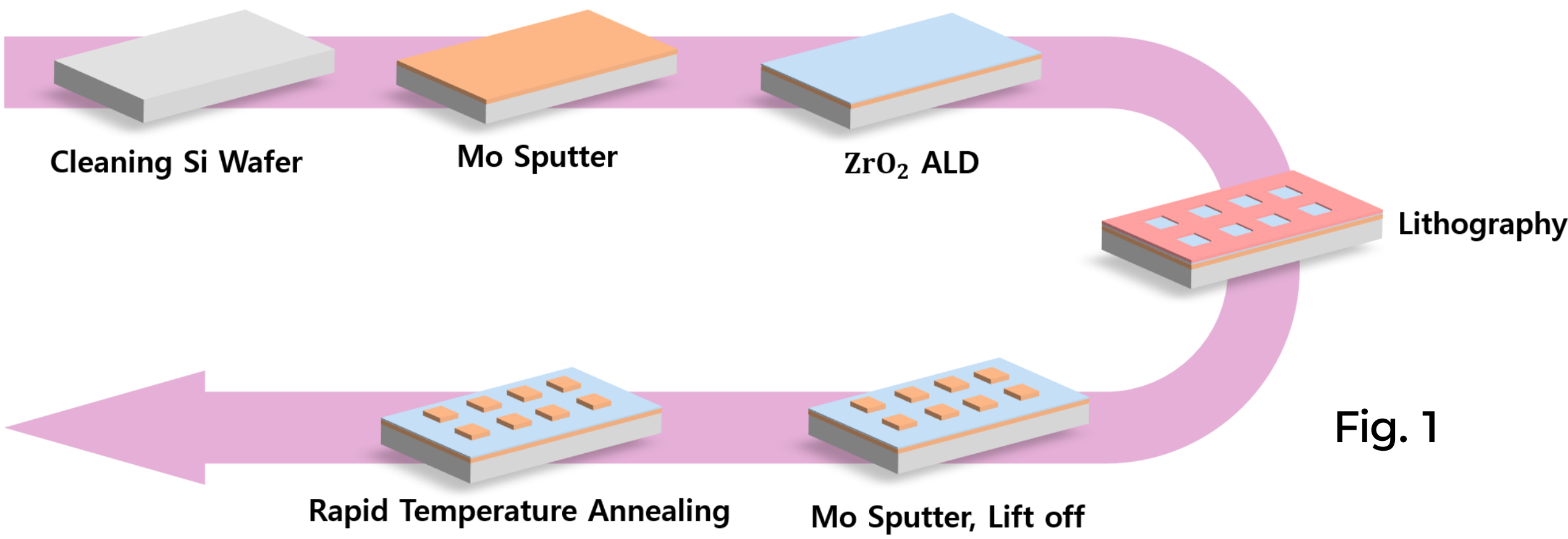
반강유전체 커패시터를 제작한 후 DHM, PUND와 같은 분극 측정 방법을 이용해 분극, 반주기 Endurance, 반주기 Retention을 측정한다.

펄스 폭, 펄스 크기를 다르게 프로그래밍하여 펄스 폭에 따라 분극을 플롯하고 NLS 모델을 피팅하여 펄스 크기에 따른 로렌츠 변수 log t와 w를 구한다.

아레니우스 플롯을 통해 두 상전이 방향에 따라 활성화 에너지, 스위칭 시간, w를 비교한다.

METHODOLOGY

Device Fabrication



- Sputter 200 W, 25 °C Mo 120 nm Deposition
- ALD Cp-Zr(Precursor), 260 °C, O₃ (Reactant) ZrO₂ 10 nm Deposition
- RTA 500°C 60s
- Lithography 200μm*200μm Pattern

Measurement

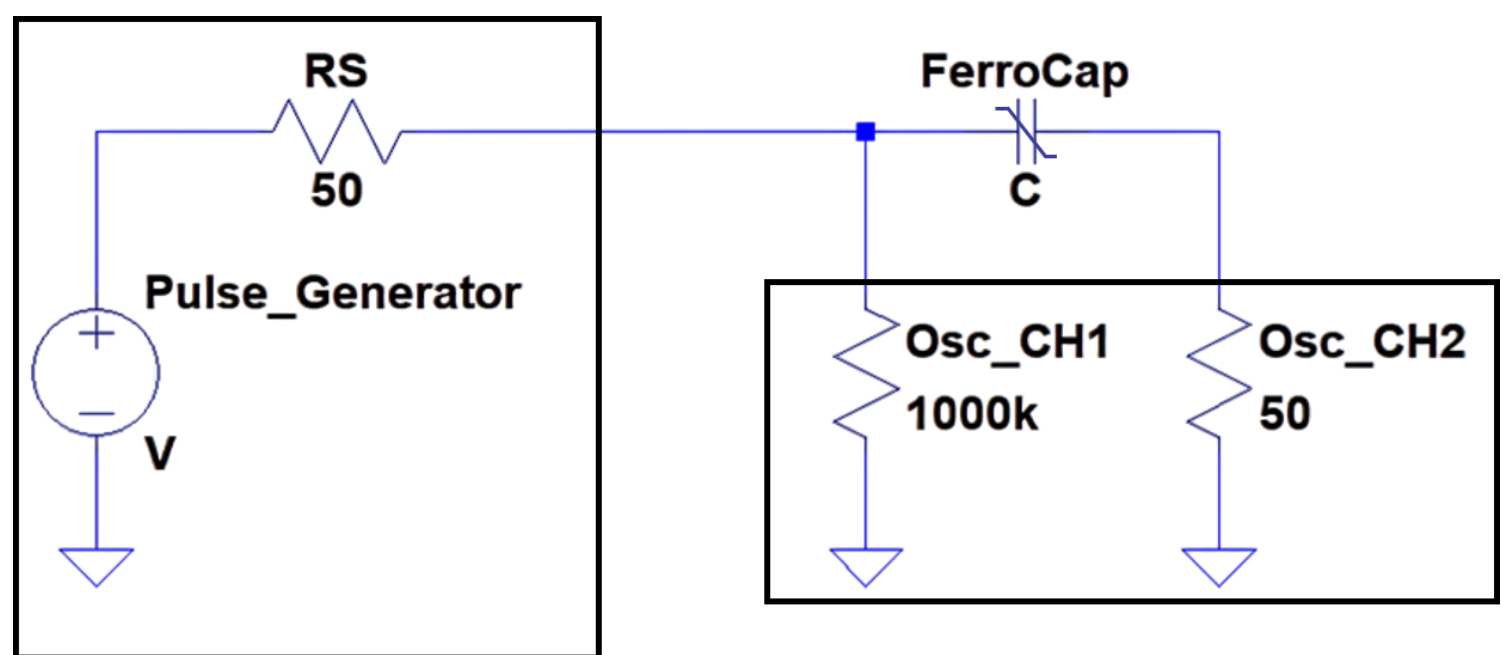


Fig. 2

Agilent 33500B 파형발생기, 오실로스코프

Fig. 3 (b), (a) 파형에서 펄스 폭, 크기를 바꿔가며 프로그래밍 및 Read 수행

Fig. 3 (c), (d)를 통해 FORC 측정 수행

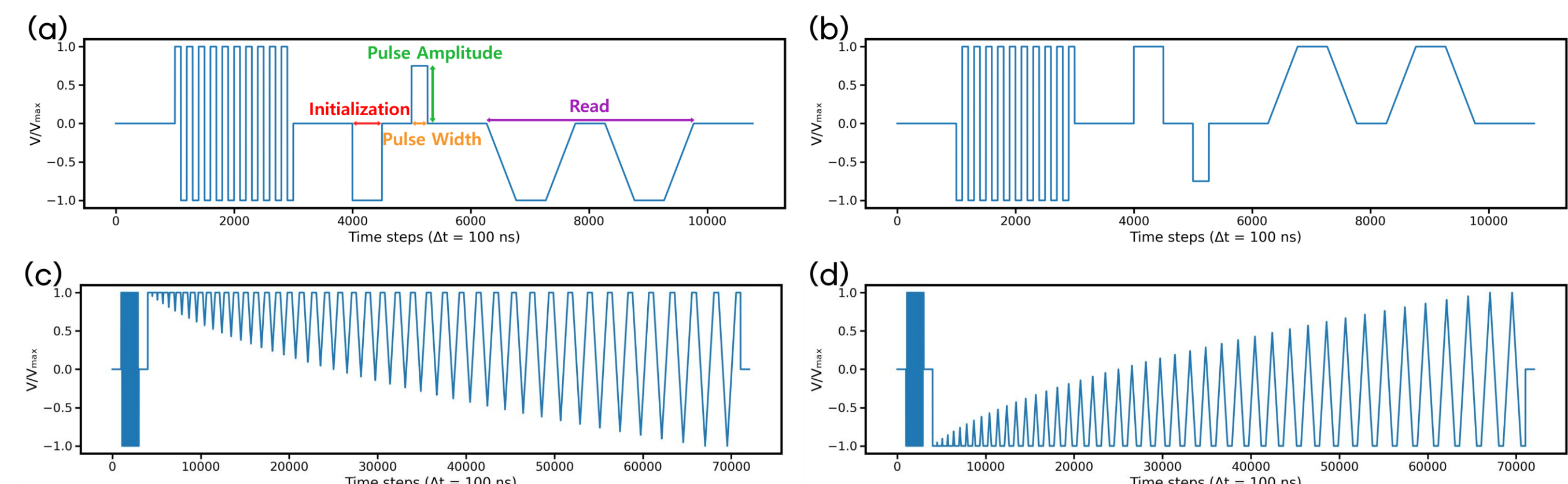


Fig. 3

RESULT

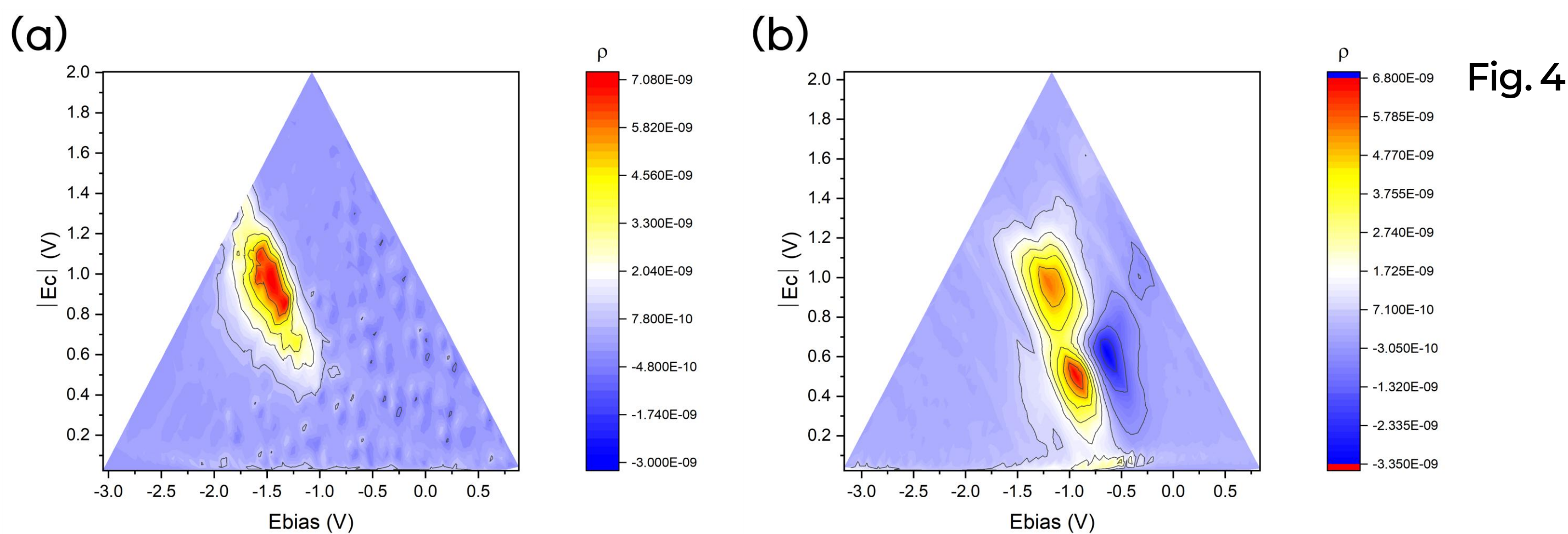


Fig.4(a), (b)는 각각 -3.2V에서 1V까지, 1V에서 -3.2V까지 0.1V 간격으로 40,000V/s의 기울기로 측정된 결과이다.

높은 기울기로 측정을 했기 때문에 기울기 부호에 따라 편향이 발생하며, 두 결과의 Ebias가 다르게 나타났다. Fig 4.(a)에서는 약 -1.3V, Fig 4.(b)에서는 -0.9V와 -1.1V의 Ebias 값을 가진다.

세 Ebias의 평균인 -1.1V를 중심 전압으로 결정하였다.

$$(1) F(x) = \frac{A}{\pi} \left[\frac{w}{(x - x_1)^2 + w^2} \right]$$
$$(2) \Delta P(t) = 2P_S \int_{-\infty}^{\infty} \left[1 - \exp \left\{ - \left(\frac{t}{t_0} \right)^n \right\} \right] F(\log t_0) d(\log t_0) \quad (n = 1)$$
$$(3) t = t_0 \exp \left(\frac{E_0}{E} \right)$$

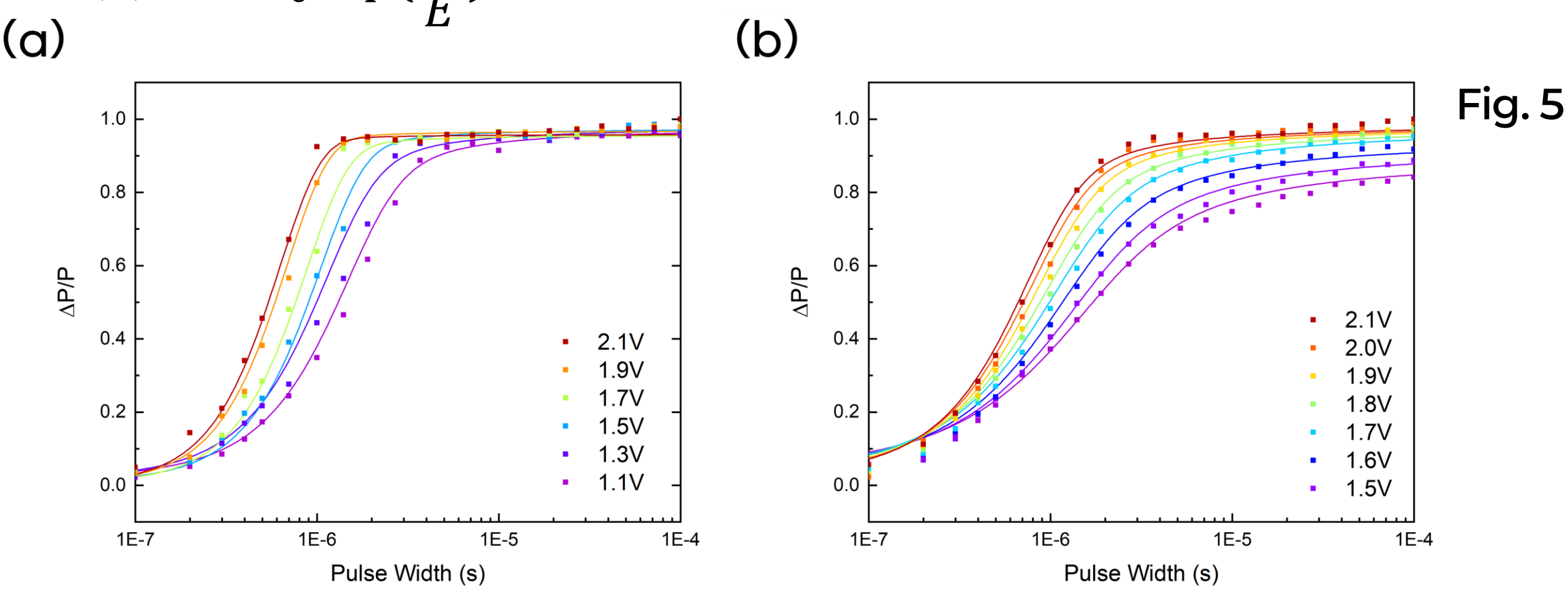
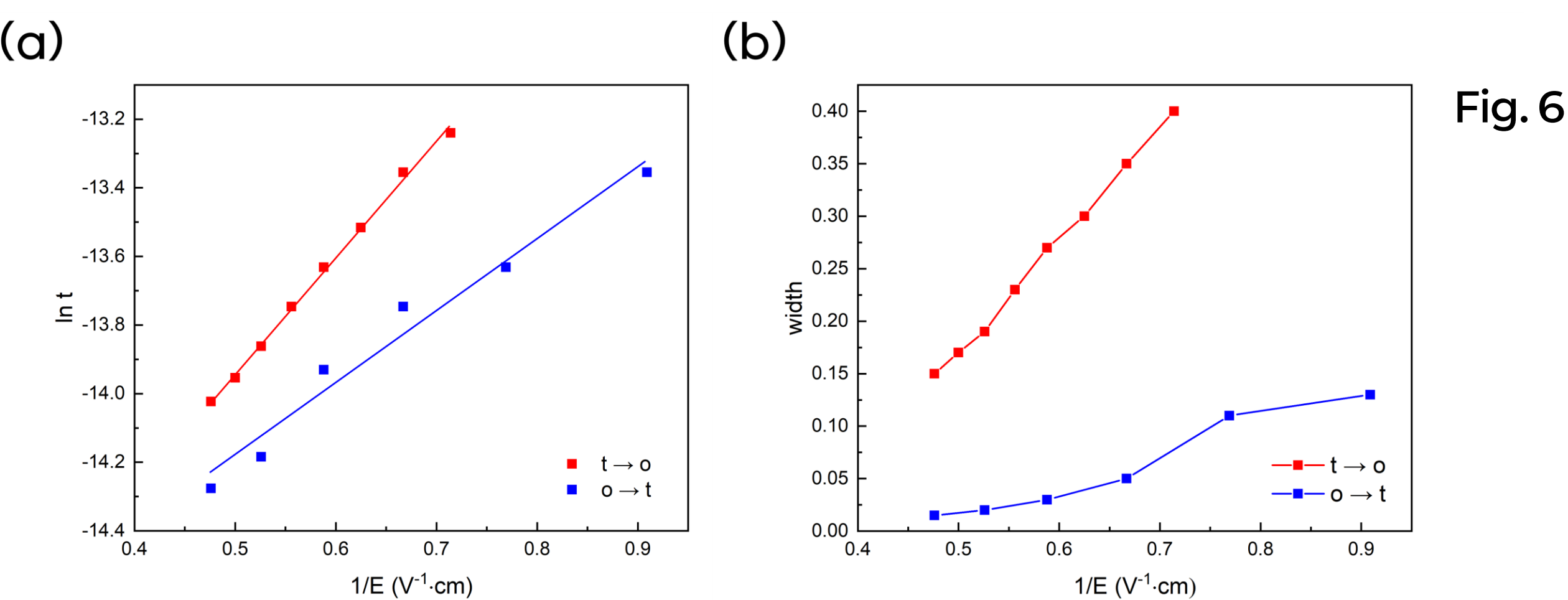


Fig 5.(a)와 (b)는 Fig 2.(a)와 (b)에서 인가한 펄스 폭에 따른 정규화된 분극 값이다.

펄스 크기에 따른 실험 데이터는 식 (1)과 (2)를 이용해 NLS 피팅을 하여 나타내었다.



NLS 모델 피팅을 통해 추출한 변수인 log t와 펄스 크기를 식 (3)에 적용하여 아레니우스 플롯을 진행하였다.

Fig 6.(a)에서 t → o의 Ea는 3.4 V/cm, o → t의 Ea는 2.1 V/cm로 두 상 전이 간 활성화 에너지 차이가 약 1.6배 차이났다.

w는 t → o가 o → t보다 약 10배 정도 큰 것을 통해 t → o에서 국소 전기장의 분포가 더 불균일함을 알 수 있다.

상전이에 따른 스위칭 동역학이 다른 이유는 Fig 4에서 찾을 수 있다. Fig 4.(a)에서 o → t일 때는 Coercive field가 하나로 나타나지만, Fig 4.(b)에서 t → o일 때는 Coercive field가 두개로 나타나 더 넓은 스위칭 전기장을 가지게 되며, 더 큰 활성화 전기장을 요구하는 것으로 보인다.

CONCLUSIONS

ZrO2 기반 반강유전체 박막에서 상전이 방향에 따라 서로 다른 스위칭 특성을 보임을 확인하였다.

FORC 측정 결과, 상전이 방향에 따라 Coercive Field가 형성되는 개수가 다르며, 이는 서로 다른 스위칭 특성의 원인임을 확인하였다.

전압 범위를 조절하여 비휘발성 반강유전체 메모리로 활용할 경우, w가 더 큰 상전이 방향을 프로그래밍하여 Multi-level 메모리로 활용할 수 있을 것이다.