

非対称ピンニングセンターによる 磁束量子ダイナミクスと非対称 I - V 特性

名古屋大学大学院工学研究科 一野 祐亮

研究グループメンバー

- ・ 教授 吉田隆
- ・ M2 足立健人

アウトライン

➤ 非対称ピンニングセンター

- ・ 磁束運動のラチェット効果（金属系超伝導薄膜）

➤ 2次元TDGLシミュレーション

- ・ シミュレーションモデル（境界条件）
- ・ 非対称ピンニングセンター

➤ シミュレーション結果

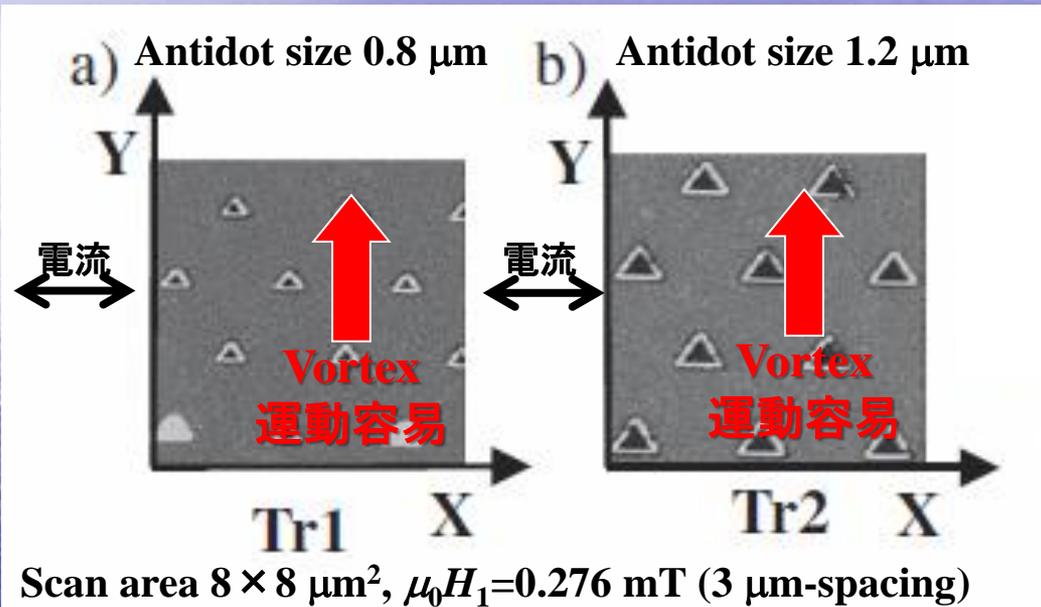
- ・ 非対称ピン形状に対する磁束量子ダイナミクス
- ・ 非対称ピン形状に対する超伝導体の電流-電圧特性

➤ 今後の展望

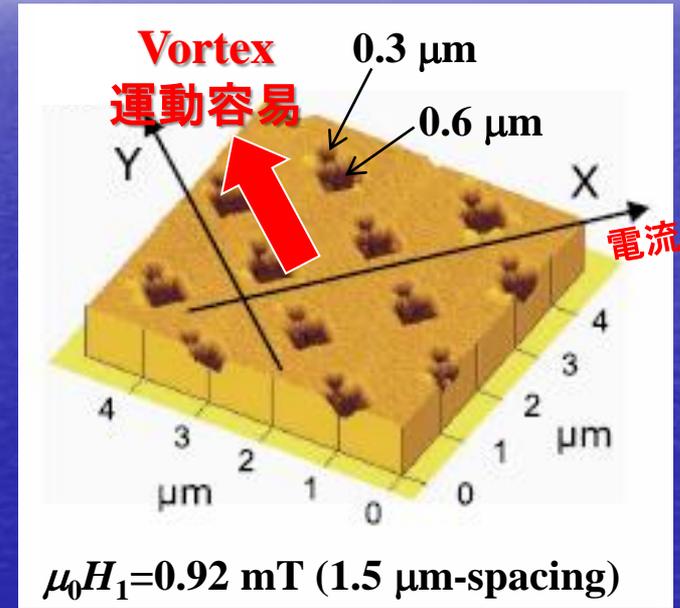
非対称ピンニングセンター

◎非対称なピンニングセンターアレイ

・フォトリソグラフで作製



Al film (50 nm-t), Vondel et al, EPL 80 (2007) 17006



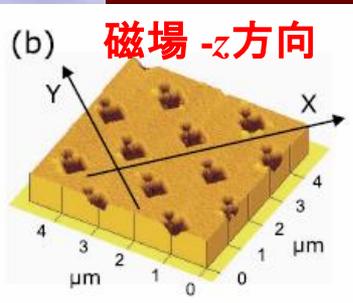
Al film (38 nm-t), Vondel et al, PRL 94 (2005) 057003

非対称ピンニングセンター

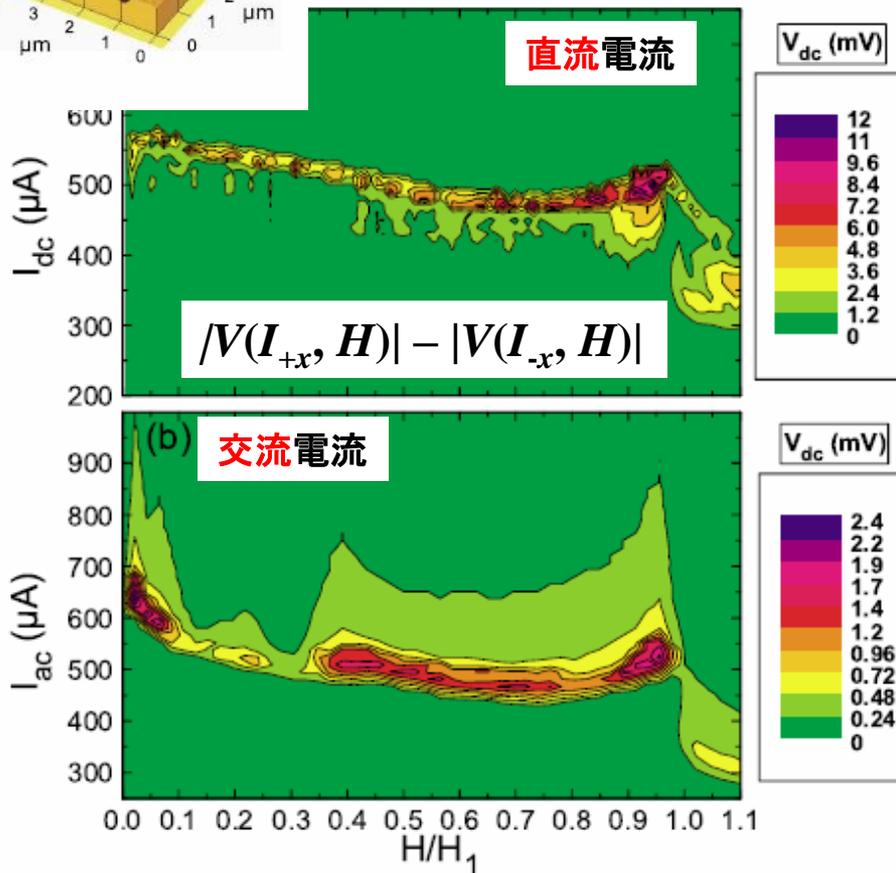
- ・角部に遮蔽電流集中
- ・角部の大きな遮蔽電流が大きなローレンツ力を発生

➡ 非対称なピンニングポテンシャルを生じる

ラチェット効果



◎非対称ピンニングセンターアレイを持った Al 薄膜の磁場 - 電流ダイアグラム



直流電流印加

- ・ 直流電流の印加方向によって、 $I - V$ 曲線の立ち上がり方が異なる。
- ・ I_{+x} で磁束量子動きやすい
→ 磁束量子が $+y$ 方向に運動しやすい

交流電流印加

- ・ 1 kHz の交流電流印加
- ・ 正方向 ($+x$ 方向) に直流電圧が発生
→ 平均的に、磁束量子が $+y$ 方向に運動



ラチェット効果

(ダイオード効果、
Vortex-Rectification 効果)



ラチェット効果の報告例

Year	Journal	Author	Experimental	Remarks
1999	Nature, vol. 400, p. 337	C. S. Lee et al. (U. Norte Dame, USA)	Molecular Dynamics	- AC Lorentz force - Remove vortices from S.C.
2001	PRB, vol. 64, p. 12504	B. Y. Zhu et al. (K. U. Leuven, Belgium)	Molecular Dynamics	- Direction of FL vs. velocity of vortices
2003	Physica E, vol. 18, p. 322	B. Y. Zhu et al. (RIKEN, Japan)	Molecular Dynamics	- Triangle PC - AC F_L
2005	PRB, vol. 72, p. 14507	A. V. Silhanek et al. (K. U. Leuven, Belgium)	Pb thin film	- Assembly of small and big antidots - AC - Improvement of B_{irr} by the asymmetric PC
2005	PRL, vol. 94, p. 57003	J. Van de Vondel et al. (K. U. Leuven, Belgium)	Al thin film	- Assembly of small and big antidots - AC, DC
2006	Nature, vol. 440, p. 651	C. C. de Souza Silva et al. (K. U. Leuven, Belgium)	Al thin film	- Vortex drift direction is affected by asymmetric potential and number of vortices in the PC.
2010	PRB, vol. 81, p. 174505	B. B. Jin et al. (K. U. Leuven, Belgium)	Pb thin film	- AC, $f = 0.5 \text{ MHz} \sim 2 \text{ GHz}$ - Moving direction was changed by current amplitude.

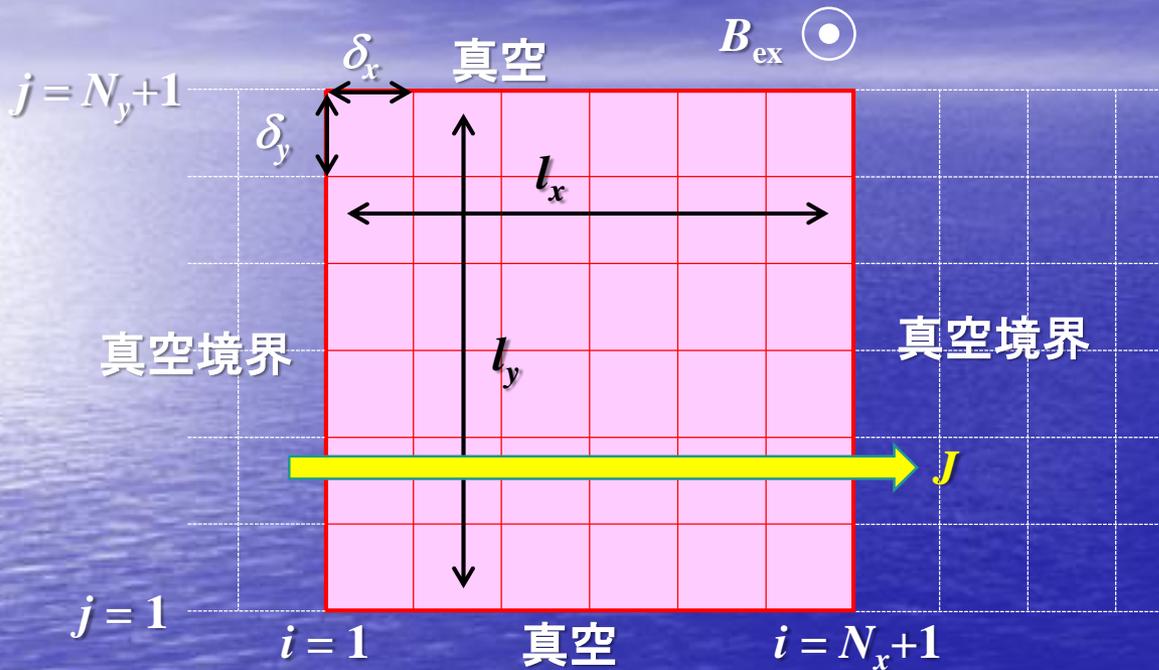
フォトリソ微細加工と分子動力学シミュレーションを用いた
交流電流印加の研究が大半

目的

非対称ピンニングセンターが
直流電流輸送特性に与える
影響を明らかにする。

- 種々の非対称ピンニングセンターに対する磁束量子ダイナミクス
- 種々の非対称ピンニングセンターと電流-電圧特性

2次元TDGLシミュレーションモデル



- ・ 外部磁場 B_{ex} は z 方向のみ。
- ・ 電流 J は x 方向のみ。西（東）境界から均一に流入。 $J = J_s + J_n$
- ・ J は、東西境界での自己磁場 B_{sf} を B_{ex} に足すことで印加。

シミュレーション条件

- ・ $N_x \times N_y = 400 \times 180$ のサイズで計算。
- ・ $\delta_x = \delta_y = 0.25 \xi_0$ 。計算領域は $100 \xi_0 \times 45 \xi_0$ 。
- ・ $T = 0, B = 0.03-0.10 B_{c20}, J = 0 \rightarrow 0.16 J_{d0}$



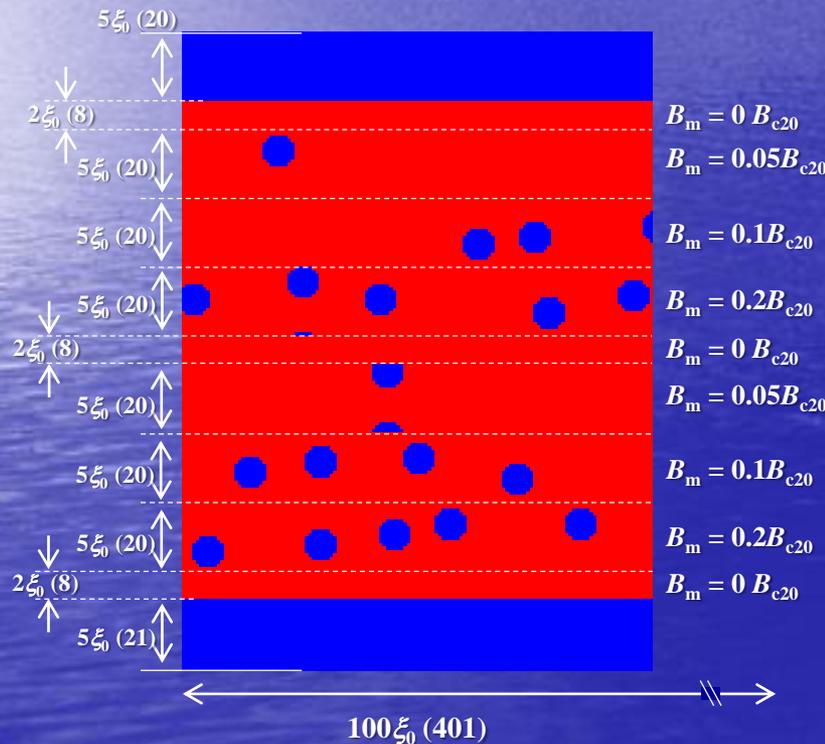
2D-TDGL
シミュレーション

非対称ピンニングセンター

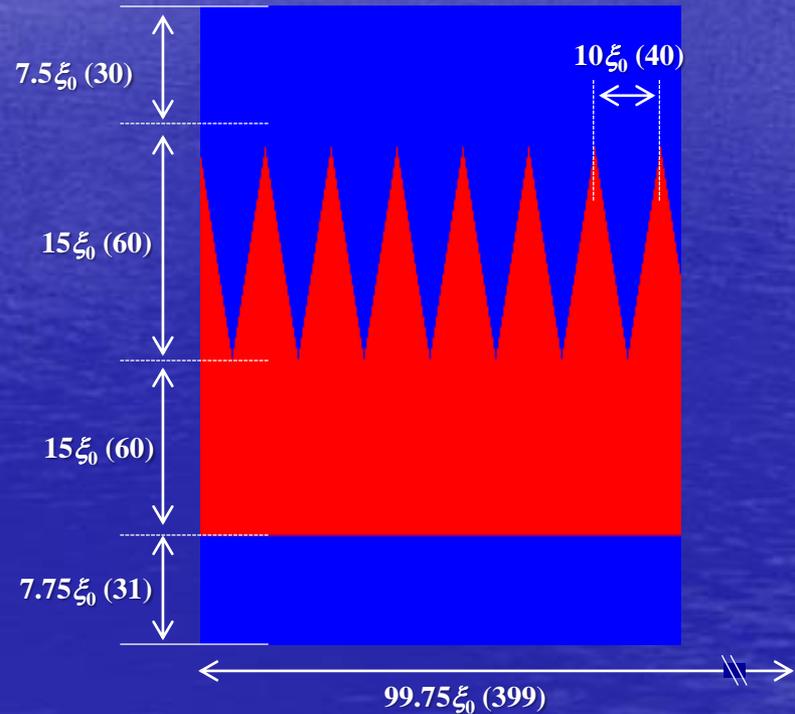
ある電流方向に対してのみ磁束量子運動が容易になるピン形状探索
 (ローレンツカの方角に対してピンポテンシャルが非対称)

非対称ピン分布

※赤が超伝導部分



のこぎり形状

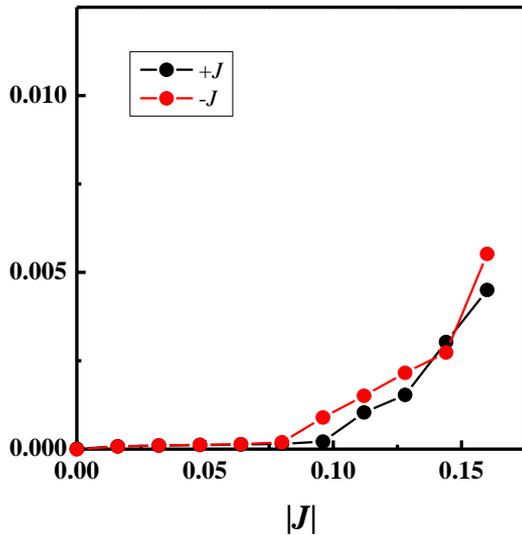


- ・ピン直径 = $2\xi_0$
- ・三種類の異なるマッチング磁場層を積層。
 B_m 積層シーケンス (0/0.05/0.1/0.2) × 2 + 0

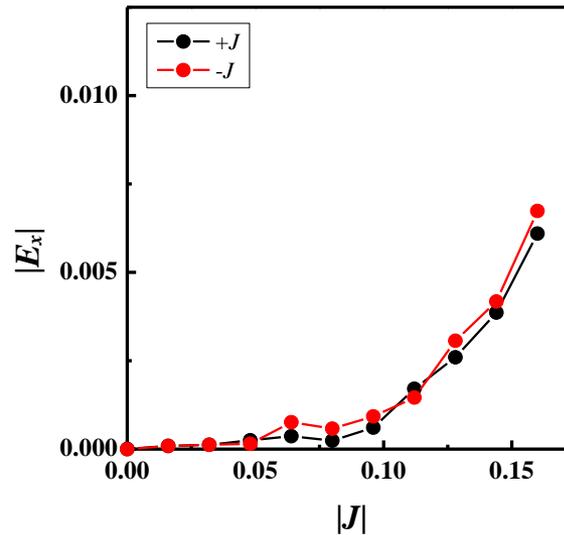
- ・片側だけのこぎり状に超伝導体を加工。
- ・三角の先端で磁束量子生成され易い。

非対称ピン分布のI-V特性

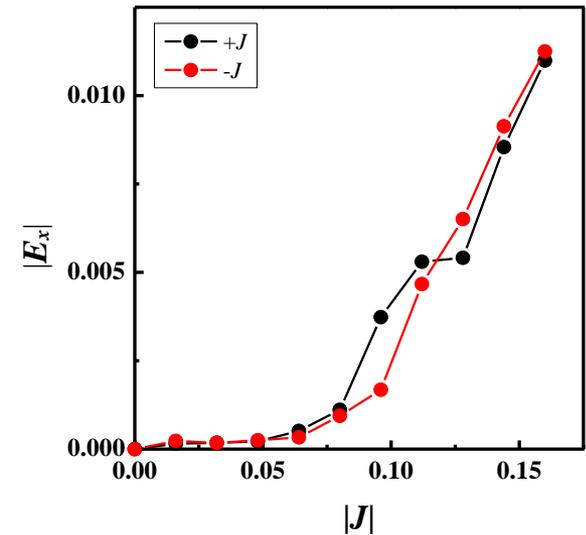
$B_{ex} = 0.03B_{c20}$



$B_{ex} = 0.05B_{c20}$



$B_{ex} = 0.10B_{c20}$



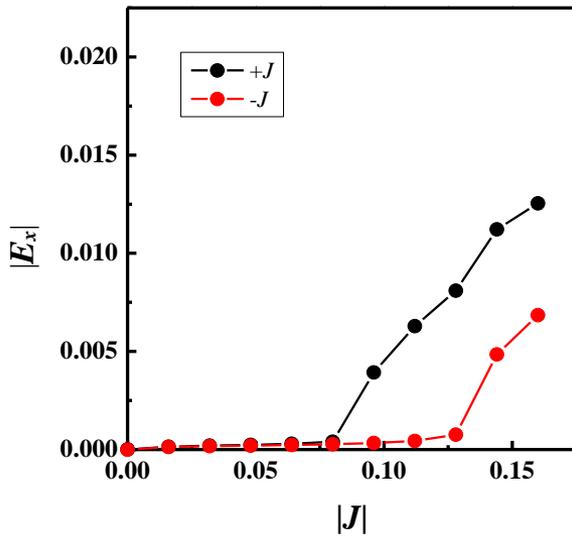
- $B_{ex} = 0.03, 0.05, 0.10B_{c20}$ に対して、 $|J| = 0 \sim 0.16J_{d0}$ の範囲でステップ状に上昇。
- B_{ex} 大きいほど発生電場高い。
- J 方向に対して明確な差は見られない。



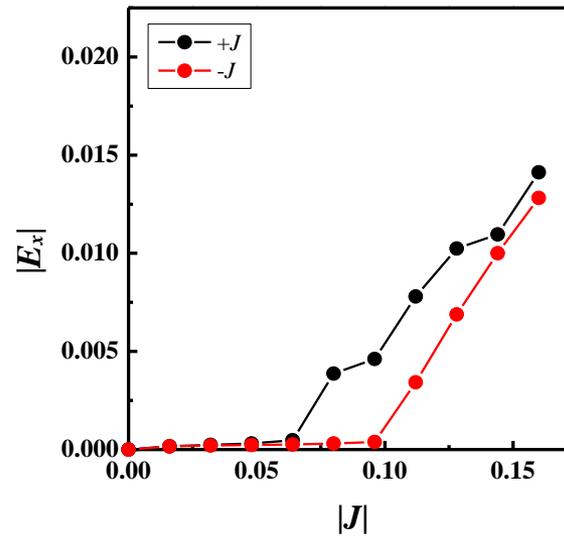
- 非対称ピン分布はパラメータ多い。
ピン直径、各層厚み、 B_m バランス etc...
- 一概に非対称磁束運動の可能性を否定は出来ない。

のこぎり形状のI-V特性

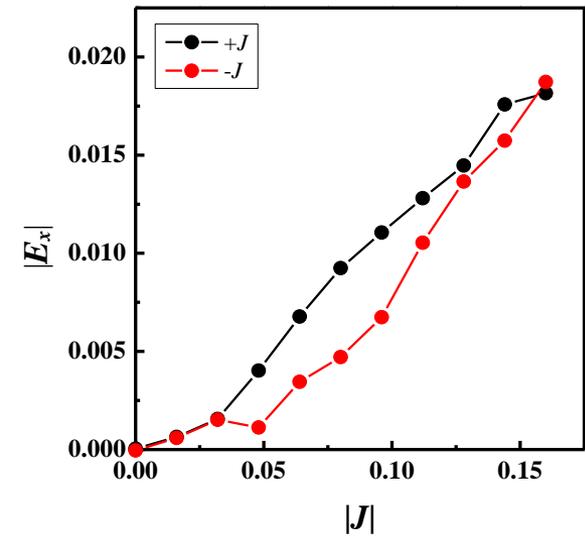
$B_{ex} = 0.03B_{c20}$



$B_{ex} = 0.05B_{c20}$



$B_{ex} = 0.10B_{c20}$



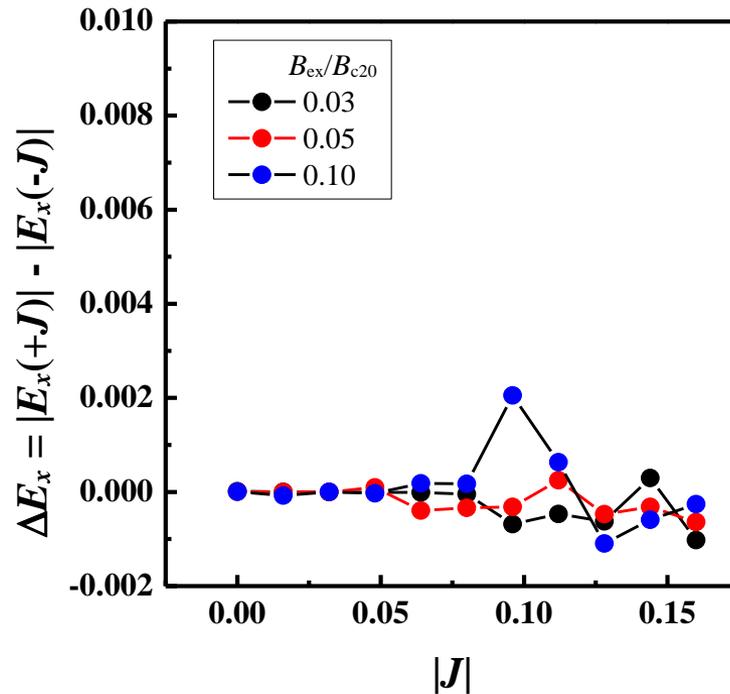
- $B_{ex} = 0.03, 0.05, 0.10B_{c20}$ に対して、 $|J| = 0 \sim 0.16J_{d0}$ の範囲でステップ状に上昇。
- B_{ex} 大きいほど発生電場高い。
- $+J$ で電場発生しやすい (F_L は $-y$ 方向)。



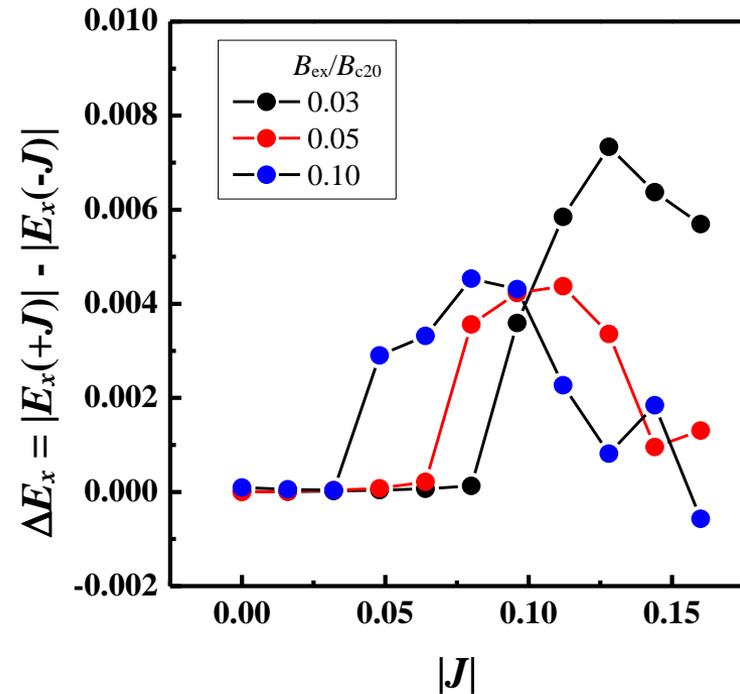
- 南北境界近傍での量子化磁束の生成の容易さが主要因。
- 実際の系 (サイズが大、defectiveな境界) でも成り立つか？

Jに対する発生電圧差の比較

非対称ピン分布



のこぎり形状

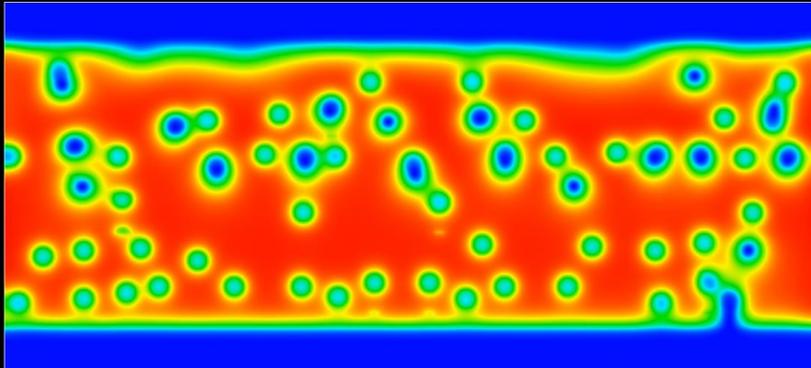


- ・ のこぎり形状の方がJ方向に対して発生電圧非対称。 ➡ ダイオードライク
- ・ 実際の系では、のこぎり形状の方が試料作製しやすい？

磁束量子ダイナミクス ($B_{ex} = 0.05B_{c20}$)

非対称ピン分布

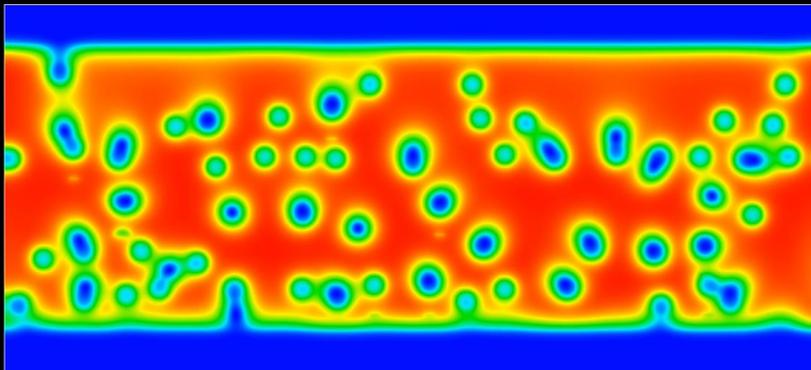
$+J$ \longrightarrow



D2_0003820000.csv

B_{ex} \odot

$\longleftarrow -J$

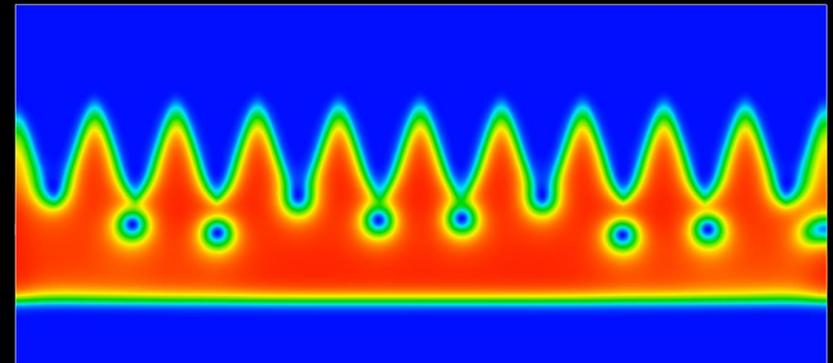


D2_0003980000.csv

B_{ex} \odot

のこぎり形状

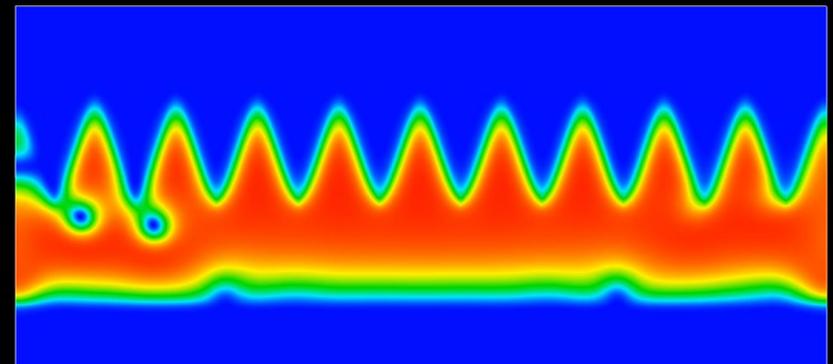
$+J$ \longrightarrow



D2_0004020000.csv

B_{ex} \odot

$\longleftarrow -J$



D2_0004020000.csv

B_{ex} \odot

まとめ

非対称な磁束量子ダイナミクスを目指した シミュレーション条件の探索

- 二種類の非対称構造についてシミュレーション
(非対称ピン分布) マッチング磁場の異なる層を積層した構造
(のこぎり形状) 境界の一部をのこぎり状にした構造
- 電流方向に対する発生電場を計算した。
(非対称ピン分布) 明確な電場の差無し。
(のこぎり形状) 電流方向によって I - V 曲線に差。
- 磁力量子ダイナミクス (ローレンツカ方向に対する磁束量子運動)
(非対称ピン分布) 電流方向に対して差無し。
(のこぎり形状) のこぎり先端で磁束量子化しやすい。