

ナノスケールらせん磁性体を用いたインダクター

理化学研究所

創発物性科学研究センター

強相関理論研究グループ

副センター長 永長 直人

2019年5月28日

従来技術とその問題点

既に実用化されているインダクターは、古典的なコイル構造を持つものがほとんどで、そのインダクタンスはコイルの巻き数と断面積に比例する結果、

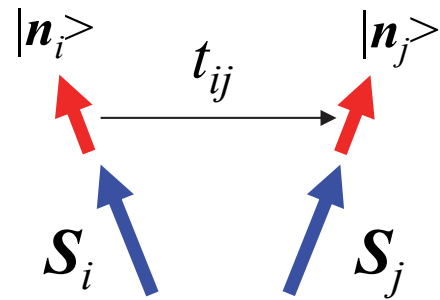
加工が必要、

微細化が困難、

等の問題があり、集積化に対して障壁となっている。

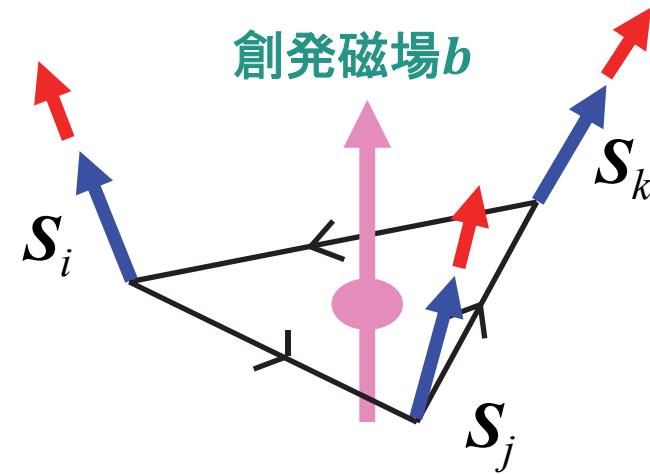
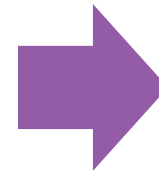
新技術の特徴・従来技術との比較

- 従来技術の問題点であった、微細化に向けた新しい基礎原理を与える。
- らせん磁気構造を持つ磁性体結晶をそのまま使えるため、鉄心などを必要としない。
- 本技術の適用により、インダクタンスが断面積に逆比例するため、マイクロメートルからナノメートルのサイズで従来のインダクタンスが実現できることが期待される。



平行でないスピン構造に伴う量子位相

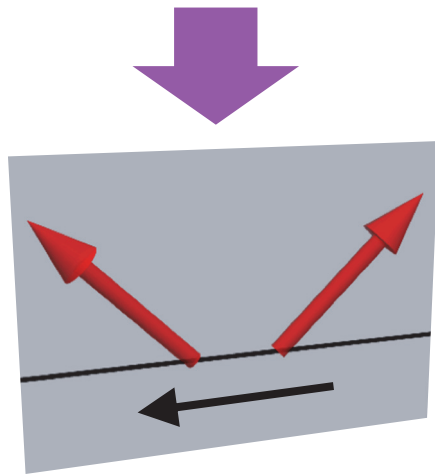
創発電磁場 $\mathbf{a}(\mathbf{r}, t)$ v/c の因子なし



空間変化 巨大な創発磁場

$$\mathbf{b}(\mathbf{r}, t) = \nabla \times \mathbf{a}(\mathbf{r}, t)$$

100~1000 T(テスラ)

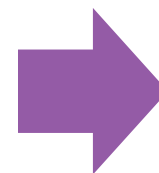


$$\mathbf{e} = -\frac{\partial \mathbf{a}}{\partial t}$$

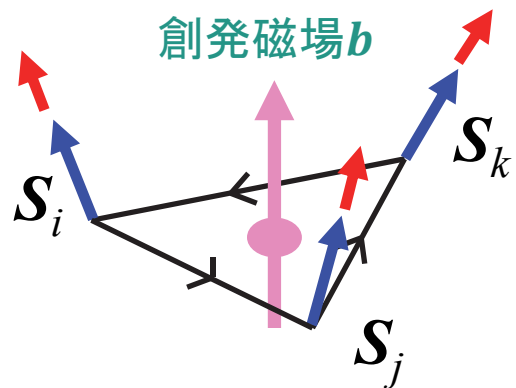
時間変化 巨大な創発電場

$$\mathbf{e}(\mathbf{r}, t) = -\frac{\partial \mathbf{a}(\mathbf{r}, t)}{\partial t}$$

$$\sim 10^{10} \text{ V/m}$$



電子の量子位相干渉
巨大で高速な創発電磁場

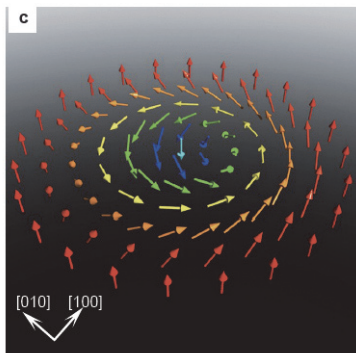


創発電磁場を担う様々なトポロジカル・ナノスピテクスチャー

スピ構造模式図 LTEM実空間観察像 SANS運動量空間像

スキルミオン

全スピンは球を一回覆う
(量子化)



立体角 4π

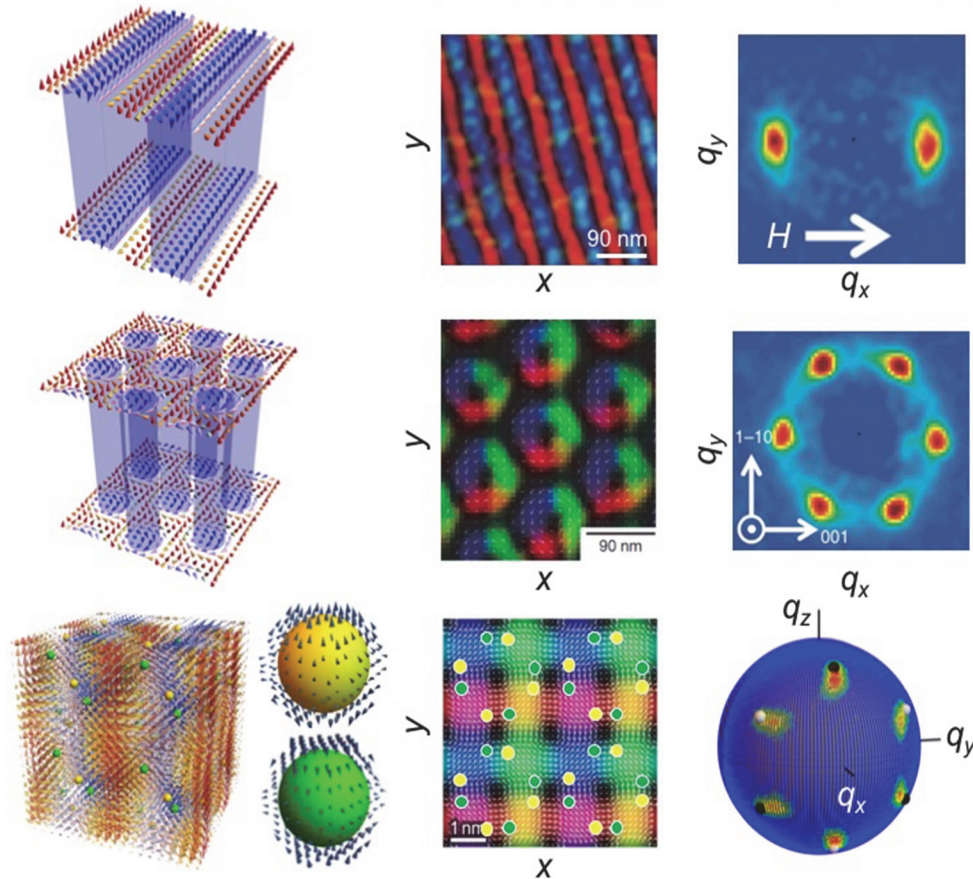
スキルミオンの創る創発磁場 = 磁束量子

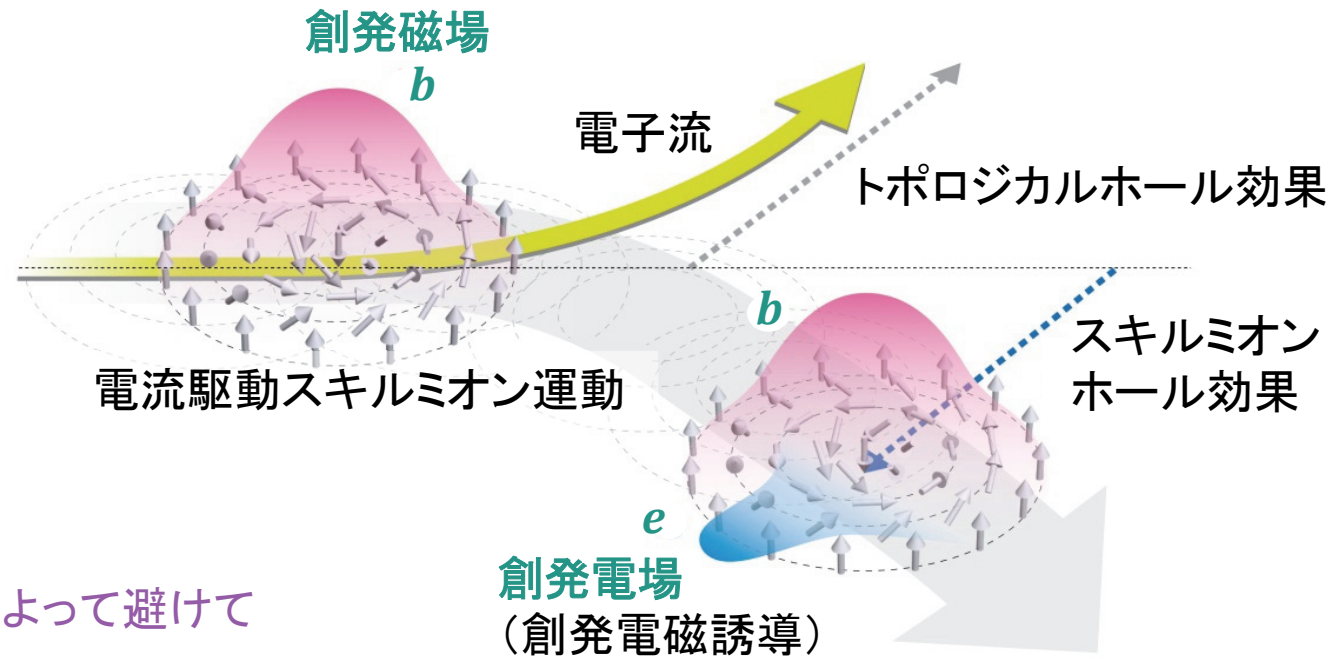
$$\phi_0 = h/e$$

10 nm²に1個のスキルミオン

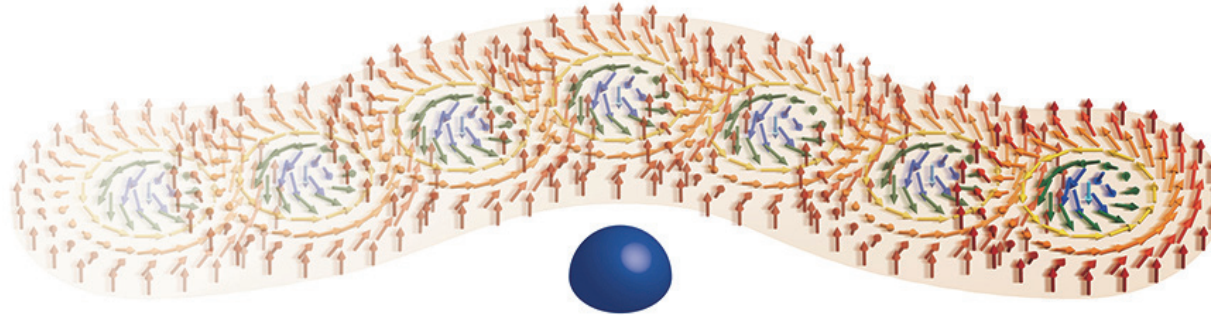
= 創発磁場 400 T(テスラ)

ヘリカル構造
ヘリカル格子
スキルミオン格子
ヘッジホッグ格子





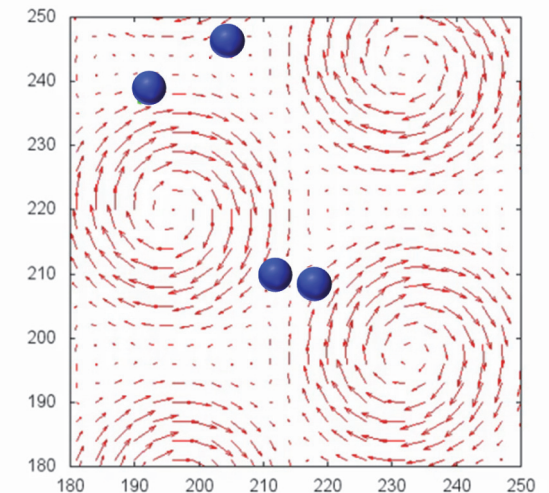
不純物を「回転運動」によって避けて運動するスキルミオン



超低電流密度 ($\sim 100 \text{ A/cm}^2$) で駆動可能

→ 超低消費電力: 1 fJ/b (フェムトジュール/ビット) 以下

(磁壁の電流駆動 $\sim 10^7 \text{ A/cm}^2$)



● 不純物

非共線スピン構造を用いて、電子に働く創発電磁場 $a(r, t)$
(r は空間座標、 t は時間)を、100-1000 T、 $\sim 10^{10}$ V/mの強さで、
ナノメートル・ナノ秒スケールで自在に操作し、電子の量子位相と
運動を制御することで量子機能を発現

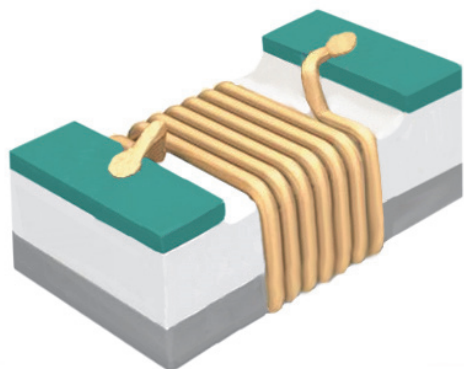


場の理論と数値計算による物性・機能設計
ナノスケールスピン構造物質の開発
創発電磁現象の開拓

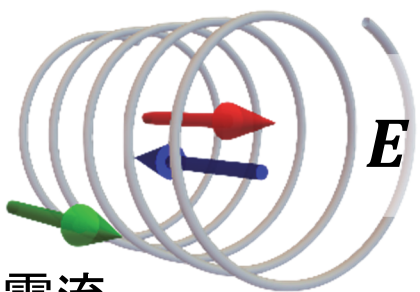


非相反・非線形応答	創発ダイオード
創発電磁誘導	創発インダクター

インダクター



古典的なコイル構造



交流電流

$$E = L \frac{dI}{dt}$$

創発電磁誘導
へ置き換え

$$e = - \frac{\partial a}{\partial t}$$

創発インダクター (評価値)

$$L \propto 1/\text{断面積}$$

$$1 \times 1 \times 1 \mu\text{m} \quad L \sim 10^{-10} \text{ Henly}$$

現在の最高値

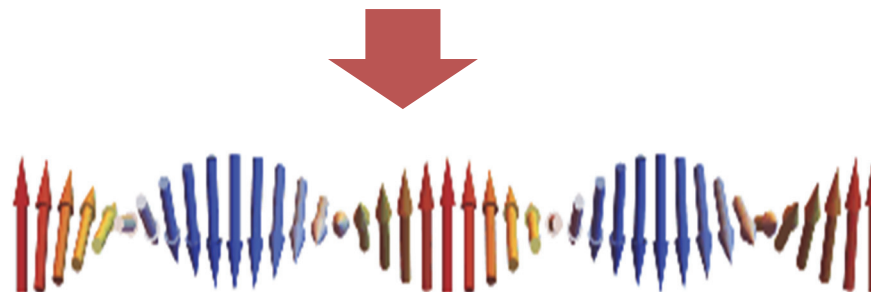
$$0.6 \times 0.3 \times 0.3 \text{ mm size} \quad L \sim 10^{-7} \text{ Henly}$$

微細化に限界 $L \propto \text{体積}$

ナノスケール化で現在の L を凌駕可能

創発電磁場

ナノスピン構造ダイナミクス (創発電磁誘導)



想定される用途

- 本技術の特徴を生かすためには、集積回路に適用することでインダクター微細化のメリットが大きいと考えられる。
- 上記以外に、加工過程簡略化の効果も期待される。
- AC-AC変換、AC-CD変換、DC-DC変換などへの用途にも展開することも可能と思われる。

実用化に向けた課題

- 現在、原理については研究が進み、実験的にも部分的には確認されている。しかし、交流電流に対する周波数依存性などは実験データがない点が未解決である。
- 今後、バルクのらせん磁性体について実験データを取得し、インダクターに適用していく場合の条件設定を行っていく。
- 実用化に向けて、インダクタンスが断面積に逆比例するスケール則の検証を確立する必要もあり。

企業への期待

- 原理が確立した後は、磁性体の微細加工や集積化については、従来の技術により克服できると考えている。
- 磁性体の技術を持つ、企業との共同研究を希望。
- また、パワーエレクトロニクスでの受動素子を開発中の企業には、本技術の導入が有効と思われる。

本技術に関する知的財産権

- 発明の名称 : インダクター素子
- 出願番号 : 特願2018-145483
- 出願人 : 理化学研究所
- 発明者 : 永長 直人

お問い合わせ先

理化学研究所

イノベーション事業本部 ライセンス部

実用化コーディネーター 井門 孝治

TEL 048-467-9729

FAX 048-467-9962

e-mail koji.ikado@riken.jp