

# Light-Induced Mirror Symmetry Breaking and Charge Transport

著者：Naoya Arakawa（中央大学）

## アブスト

私たちは、光が鏡対称性を破り、対称性と一様な時間平行移動との組み合わせを破ることができ、その破れは非対角成分の電気伝導率によって特徴づけられることを提案します。周期的に駆動されるグラフェンを例にとり、私たちは、xzおよびyz平面に関する鏡対称性と、これらの平面における鏡操作と一様な時間平行移動の組み合わせ対称性が、直線偏光または円偏光によって破れることを示します。また、この対称性の破れが、直線偏光または円偏光が存在する非平衡定常状態において、時間平均された非対角の対称または反対称の電気伝導率を誘導することを示します。私たちの結果は、ポンプ・プローブ測定で実験的に検証可能です。この研究は、光を用いた鏡対称性の制御および光誘起の鏡対称性破れを利用する道を開くものとなるでしょう。

## 問題意識

- 光によって、材料の変更を伴わずに電磁氣的、あるいは輸送特性を操作してみたい。そこで、光照射により系の対称性がどう破れるか、そしてそれが特性にどう影響を与えるかを理解したい。

## モデルと手法

ハミルトニアンは以下のようにになっている。

$$H = H_s(t) + H_b + H_{sb}$$

構成は次のようになっている。

- 光の場 $A(t)$ により駆動されるシステムのハミルトニアンを

$$H_s(t) = \sum_k \sum_{a,b=A,B} \sum_{\sigma=\uparrow,\downarrow} \epsilon_{ab}(k,t) c_{ka\sigma}^\dagger c_{kb\sigma}$$

で導入する。この効果はパイエルズ位相として現れる。

$$\epsilon = t_{NN} \sum_{l=0}^2 e^{-i[k+eA(t)] \cdot R_l}$$

- 平衡状態にあるbuttiker型の熱浴ハミルトニアンを

$$H_b = \sum_i \sum_p (\epsilon_p - \mu_b) b_{ip}^\dagger b_{ip}$$

で導入する。

- システムと浴の結合ハミルトニアンは

$$H_{sb} = \sum_i \sum_p \sum_{a=A,B} \sum_{\sigma=\uparrow,\downarrow} V_{pa\sigma} (c_{ia\sigma}^\dagger b_{ip} + b_{ip}^\dagger c_{ia\sigma})$$

で記述される。

## 光に誘起される鏡面对称性の破れ

- 直線偏光は  $A_{\text{pump}}(t) = t(A_0 \xi_x \cos \omega t, A_0 \xi_y \cos \omega t)$  で、円偏光は  $A_{\text{pump}}(t) = t(A_0 \cos \omega t, A_0 \sin \omega t)$  で与えられる。線偏光の場合、 $\xi_x \neq 0$  かつ  $\xi_y = 0$  の場合は鏡面对称性が保持されるが、それ以外の場合は破れてしまう。
- xz平面及びyz平面に関する鏡面对称性は、円偏光(CPL)か、有限の  $\xi_x, \xi_y$  を持つ線偏光(LPL1)によって破られる。

## 鏡面对称性の破れにより誘起される電荷輸送

- 輸送係数は 
$$\sigma = \frac{e^2}{V} \sum_{\mathbf{k}} \sum_{a,b,c,d=A,B} \sum_{\sigma, \sigma'} \left( \int_{-\Omega/2}^{\Omega/2} \frac{d\omega_0}{2\pi} \text{tr} \left[ v_{ab}(\mathbf{k}) \frac{\partial G^R_{b\sigma c\sigma'}(\mathbf{k}, \omega_0)}{\partial \omega_0} v_{cd}(\mathbf{k}) G^{<}_{d\sigma' a\sigma}(\mathbf{k}, \omega_0) - v_{ab}(\mathbf{k}) G^{<}_{b\sigma c\sigma'}(\mathbf{k}, \omega_0) v_{cd}(\mathbf{k}) \frac{\partial G^A_{d\sigma' a\sigma}(\mathbf{k}, \omega_0)}{\partial \omega_0} \right] \right)$$
 で与えられる。この非対角項は、CPLとLPL1の場合に現れる。それ以外の場合は消失する。なおCPLでは  $\sigma_{xy} = -\sigma_{yx}$  だが、LPL1では  $\sigma_{xy} = \sigma_{yx}$  となる。これらは時間反転対称性の違いに起因する。
- そのほか、 $\sigma_{xy}$  の量子化はCPLの場合のみ現れたり、 $\sigma_{xy}$  の  $\Gamma$  依存性が異なったりする。

## 議論

- LPL1により誘起される非対角電荷輸送は検証可能である。

## 結論

- 光誘起による鏡面对称性の破れと、その輸送特性に関する研究を行った。鏡面对称性はCPLやLPL1によって破られ、光誘起の異常ホール効果を引き起こす。

## 感想

- Buttiker型の熱浴のハミルトニアンとは何か？なぜ必要なのか？勉強しておく必要がある。
- フロケ形式に興味が出てきた。
- スピン軌道相互作用を入れたりして対称性をいじったらどうなるのか。