

OPO ネットワークによる 1 次元イジング模型のシミュレーション

Simulating 1-dimensional Ising model with an OPO network

NTT 物性研

稲垣卓弘、稲葉謙介、[○] 武居弘樹

NTT Basic Research Laboratories

T. Inagaki, K. Inaba, [○] H. Takesue

E-mail: takesue.hiroki@lab.ntt.co.jp

概要: 互いに結合されたレーザ発振器 / 縮退光パラメトリック発振器 (OPO) を用いてイジング模型の基底状態探索を行うコヒーレントイジングマシン (CIM) が提案されている [1, 2]。我々のグループでは大規模 CIM 実現を目的として、長尺光ファイバ共振器を用いた大規模時分割多重 OPO を構築している [3]。今回、時分割多重された $>10,000$ の OPO 群に隣接 OPO 間の光結合を導入することで 1 次元イジング模型を模擬する実験を行った。

1 次元イジング模型: 磁場なしの場合の 1 次元イジング模型のハミルトニアンは $H = -\sum_i^K K S_i S_{i+1}$ で与えられる。ここで、 $S_i = \pm 1$ は i 番目のスピン値、 N は総スピン数、 $K = J/T$ (J : 結合係数、 T : 温度) であり、 $S_{N+1} = S_1$ の周期境界条件を仮定している。1 次元イジング模型は E. Ising により厳密解が導出されており [4]、 N が大きくかつ $T > 0$ ではスピンの相関長は有限となりドメインをもつことが知られている。従来の CIM 実験ではスピン数 N が数個であったため、ドメイン構造は観測されていなかった [2]。

実験系: 光ファイバ共振器内に配置した長さ 1 km の高非線形ファイバ中の 2 ポンプ四光波混合により、2 GHz のクロック周波数で時間多重された $N = 10,337$ の縮退 OPO を発生する [3]。さらに、共振器に遅延時間 500 ps の遅延干渉計を挿入することで最隣接 OPO を光学的に結合し、前述のハミルトニアンを実装する。干渉計の位相差を $0(\pi)$ とすることで結合係数 J の符号を正 (負) に設定することができる。出力された OPO パルス列は遅延干渉計と 2 個の光検出器からなる位相差測定系に入力し、 i 番目と $i+1$ 番目の OPO の位相差 $\Delta\theta_i$ のコサイン成分を測定する。

実験結果: 結合位相を 0 および π としたときの $\cos \Delta\theta_i$ を図 1(a)、(b) に示す。 $\Delta\theta_i$ は結合位相 0 のとき同相 (強磁性相)、 π のときは逆相 (反磁性相) が支配的になることが確認された。一方、局所的な位相差の反転が観測された (図 1(a),(b) 矢印)。これは、強磁性相においては OPO 位相配列が $0000\cdots$ と $\pi\pi\pi\pi\cdots$ 、反強磁性相においては $0\pi 0\pi\cdots$ と $\pi 0\pi 0\cdots$ のドメインがそれぞれ形成されていることを示している。強磁性相におけるドメイン長の分布を図 1(c) に示す。このとき、ドメイン壁の総数 N_d は 725 であった。 $2JN_d/N$ を内部エネルギー増加分とすると、スピン系の実効温度は $0.77J$ と見積もることができる。

本研究は革新的研究開発推進プログラム (ImPACT) により委託されたものです。

参考文献

- [1] S. Utsunomiya et al. Opt. Express **19**, 18091 (2011).
- [2] A. Marandi et al. Nat. Photon. **8**, 937 (2014).
- [3] 武居, 稲垣, 井上, 山本, 2014 年応用物理学会春季学術講演会 17p-PA1-1.
- [4] E. Ising, Z. Phys. **31**, 253 (1925)

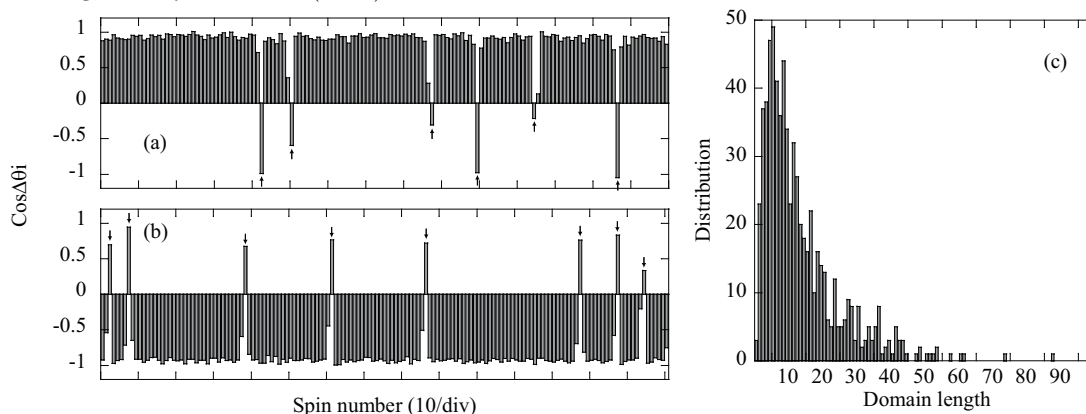


図 1: (a)、(b) : 結合位相 0 および π の場合の位相差測定結果、(c) ドメイン長の分布 (結合位相 0)。