

# 『新しい磁気と光の科学—新材料と電場効果—』

(菅野 暁, 小島憲道, 佐藤勝昭, 対馬国郎編, 252 ページ, 講談社

サイエンティフィック, 2001 年, 5700 円, ISBN 4-06-153245-6)

長岡技術科学大学

小松 高行

## Introduction of New Book “New Magnetism and Optic Science —New Materials and Electric Field Effect—

Takayuki Komatsu

*Nagaoka University of Technology*

本書の序文で述べられているように、大容量・超高速の光デバイスが情報通信の中心になってから、磁気と光が密接に関連した現象や材料が大きな注目を集めている。本書はガラスに関するものではないが、ガラス研究者にとっても大いに興味をそそられ、また参考になる様様な「磁気と光の科学」に関する現象が取り上げられており、厳密な理論的理解は別として、現在の状況を十分に理解できる内容になっている。本書は 8 章から構成されており、以下に各章の概略を述べる。

第 1 章「光スペクトルに見る磁性イオン間相互作用」: 磁性イオンの濃度の増加によって磁性イオン間に磁氣的相互作用が強くなると、光スペクトルには磁氣的相互作用の効果が随所に現れてくる。主として  $\text{Cr}^{3+}$  を例にして、対スペクトルの出現 (通常の吸収スペクトルにサ

テライト吸収線が出現)、共同光吸収 (1 つの光子を吸収して対形成した 2 つの磁性イオンが同時に励起)、エネルギー伝達過程 (共鳴伝達とフォノンを伴う非共鳴伝達) が解説されている。また、反強磁性  $\text{MnF}_2$  におけるマグノンの挙動と光吸収スペクトルとの関係、 $\text{RFeO}_3$  (R: 希土類) へのレーザー照射による光誘起スピン再配列現象についても説明されている。

第 2 章「強相関 1 次元系の巨大非線形光学応答」: 一般に、1 次元系では電子が一方向に閉じ込められるため大きな 3 次の非線形光学定数  $\chi^{(3)}$  が観測される。著しく大きな  $\chi^{(3)}$  を示す 1 次元モット絶縁体である銅酸化物  $\text{Sr}_2\text{CuO}_3$ ,  $\text{Ca}_2\text{CuO}_3$  ( $\text{CuO}_4$  の 1 次元鎖) の非線形光学応答を 3 種類の非線形分光法 (電場変調分光, 第 3 高調波発生, 2 光子吸収) で調べた最新の研究結果が解説されている。光励起による酸素の p 電子の銅イオンへの電荷移動 (CT) 遷移において 1 光子許容準位 (奇の CT 状態) と 1 光子禁制準位 (偶の CT 状態) の 2

つの励起状態を考え、それらの励起状態が縮退することによって状態間の遷移双極子モーメントが非常に大きくなるのが大きな  $\chi^{(3)}$  の主要因であると説明されている。また、励起状態の寿命が 1 ps のオーダーであることから 1 次元銅酸化物は数テラビット/秒の通信の可能性がある非常に有望な非線形光学材料であることも指摘されている。

第 3 章「反強磁性体の非線形光学応答」: 3 種類の反強磁性遷移金属酸化物が示す非線形光学応答の実験結果と理論的解釈が述べられている。高温超伝導体の母結晶である層状ペロブスカイト結晶  $R_2CuO_4$  では反転対称性の存在のために第 2 高調波は観測されないが、強い第 3 高調波が発生する。これは、酸素イオンの p 軌道と銅イオンの 3d 軌道の重なりが大きいためにこれらの電荷移動励起が大きな振動子強度を持つためである。強誘電性を示す六方晶マンガニウム酸化物  $RMnO_3$  では、2 光子遷移が  $Mn^{3+}$  イオンの  $3d_{z^2} \rightarrow 3d_{xz}, 3d_{yz}$  遷移に共鳴するような基本波に対して第 2 高調波が観測（ただしネール温度以下）される。コランダム構造の  $Cr_2O_3$  においても基底状態  $A_{2g}$  から励起状態  $T_{2g}$  への 2 光子共鳴遷移によって第 2 高調波が発生する。これらの物質での非線形光学応答の解釈には、配位子場理論のほかに励起の伝搬効果、すなわち励起子効果を取り込むことが必要不可欠であると力説されている。

第 4 章「希薄磁性半導体の分光」: 磁気的な性質を担う空間的に局在した d 電子と、電気的な性質を担う空間的に広がったキャリアが共存し、それら間で交換相互作用をしている希薄磁性半導体 ( $Cd_{1-x}Mn_xTe, Ga_{1-x}Mn_xAs$ ) の電子状態を分光的手法（光電子/逆光電子スペクトル）で調べる方法が解説されている。磁気光学効果、磁気円二色性についても言及されている。

第 5 章「磁性半導体の光誘起磁性」: III-V 族希薄磁性半導体の (In, Mn) As 系薄膜における光誘起による強磁性秩序の発現について、

特に異常ホール効果と磁気モーメントの実験結果を基に説明されている。光励起で生じた励起子やキャリアのもつスピンの局在化によって、局在化している Mn 磁性イオンのスピンの向きをそろえるという機構である。この現象に対する基板 GaSb の重要性（界面での空間電荷、電子捕獲中心）も指摘されている。

第 6 章「金属人工格子の非線形磁気光学」: 磁気誘起第 2 高調波発生 (MSHG) および非線形磁気カー効果 (NOMOKE) という非線形磁気光学について、基礎、実験方法、実例が述べられている。非線形磁気光学とは、第 2 高調波強度の印加磁場依存性（磁場の方向や強さ）のように非線形光学効果が磁化に応答する現象を指す。特に、表面や界面では反転対称性が破れるため表面磁性の新しい観測手段として有用であることが強調されている。Fe と Au からなる金属人工格子について MSHG の試料の方位角依存性などが詳しく述べられている。

第 7 章「磁性多層膜の磁気光学効果」: 磁性薄膜の膜厚が、光の波長（可視光で 500 nm 程度）、電子のスピン拡散長（金属で 100 nm 程度）、電子の平均自由行程（金属で 10 nm 程度）、電子のフェルミ波長（金属で 0.5 nm 程度）、1 原子層の厚み（0.2 nm 程度）といった特徴的な長さに近づいた時に現れる種々の新しい磁気光学効果が説明されている。例えば、強磁性多層膜において各層の膜厚がスピン拡散長以下になると遠赤外光の反射率、透過率に巨大磁気抵抗効果（多層膜において磁化の向きによって電気抵抗が大きく変わる現象）と同様の効果が現れる。電子の平均自由行程以下の膜厚を有する強磁性金属薄膜における膜の表と裏の両表面で散乱した電子が干渉して形成する閉じ込め準位（量子井戸準位）についても説明されている。

第 8 章「近接場における磁気光学効果」: 近接場とは全反射光学系において境界面から漏れ出し、かつ距離とともに指数関数的に減衰する電磁波（エバネセント波）の場を表している。

同様な近接場は、伝搬する光の場に微小散乱体が置かれたときの散乱体のごく近傍や、光ファイバーの先端を針のように先鋭化したファイバークロップの先端にも見られる。近接場光学の歴史、走査型近接場顕微鏡 (SNOM)、光ファイバークロップを原子間力顕微鏡の探針と

して用いる近接場磁気光学顕微鏡 (MO-SNOM) 技術について解説されている。Bi 置換鉄ガーネット薄膜に光磁気記録された微小磁区の近接場光学顕微鏡による観察例 (円偏光変調法による磁気光学イメージング) などが示めされている。