

Fe₂P の中性子異常磁気散乱

広島大学総合科学部 藤井博信

Fe₂P は C22 型六方晶構造をとり、 $T_c = 217\text{ K}$ にキュリー点をもち c 軸を磁化容易軸とする強磁性体で、 T_c で一次相転移を伴って常磁性へ転移する。帯磁率は T_c の 3 倍以上の 750 K までキュリー・ワイス則に従わない。さらに、Fe₂P は 5 kbar 以上の静水圧を加えるか、あるいは Fe を Cr, Mn で 1~3% 置換すると反強磁性が安定化される。一方、P を B や Si で 10% 置換すると、 T_c は Fe₂P のそれより 2~3 倍も高くなり強磁性が安定化する。こうした点から、Fe₂P は強磁性と反強磁性が競合した遍歴磁性体として興味深い物質の一つであるといえよう。理論的には、最近石田、浅野によって、KKR および LMT0 法を用いた Fe₂P のバンド計算が実行された。計算結果は、Fe₂P 中の P 原子の s, p-電子と Fe の s, p, d-電子の混成によって低エネルギー側に混成バンドが形成され、フェルミ面近くには Fe の 3d-特性のみを反映した凹凸の付けしの上に非常に鋭い 3d-バンドが形成されていることを示している。このような状態密度の存在はバンド計算からも、Fe₂P が反強磁性に近い遍歴強磁性体であることを示唆している。ここでは、我々が最近行なった種々の中性子散乱実験の結果を紹介する。

(1) 中性子弾性散乱実験：我々は 10 K から 300 K までの温度範囲で、Fe₂P 単結晶の詳細な中性子回折実験を行なった。その結果、これまで全温度範囲 ($T < T_c$) で単純な c 軸強磁性と信じられていた Fe₂P が $T > 130\text{ K}$ で強磁性モード ($Q=0$) と c 面内に長波長の incommensurate な反強磁性ヘリックスモード ($|Q| = 0.10\text{ Å}^{-1}$, 波長 $\sim 60\text{ Å}$) が共存したコーン構造 (c 軸からの傾き角 $5 \sim 10^\circ$) を示し、 $T_c = 217\text{ K}$ で一次転移を伴って常磁性になることを見出した。このとき、共存状態での Q-ベクトルの方向は c 面内で等方的で、c 面内の任意の方向に沿ってもサテライトが観測された。さらに、 $T \geq T_c$ で強い散漫散乱が c 面内のブラッグ点まわりで、等方的に観測され、室温付近まで持続していることが利明した。これは c 面内で強磁性と反強磁性相と作用が競合していることに起源していると思われる。最近我々は高圧中性子回折実験をグループ・ロサミニオン・グループと共同研究し、Fe₂P の圧力誘起反強磁性は Q-ベクトルが a 軸方向に沿って進む incommensurate なヘリックス構造 ($|Q| = 0.11\text{ Å}^{-1}$) であることを見出した。尚、この Q-ベクトルの大きさは常圧下の Fe₂P にみられるコーン構造の $|Q|$ と同じ値である。一方、Fe₂P の Fe を少量 Mn で置換した (Fe_{0.97}Mn_{0.03})₂P は、 $|Q| = 0.18\text{ Å}^{-1}$ の波数をもつヘリックス構造で、Q-ベクトルは b 軸方向に沿っていることを見出した。

(2) 中性子非弾性散乱実験：図 1 に a 軸および c 軸方向に沿ったのフォノンおよびスピン波の分散関係が示してある。フォノン分散関係は温度に依存しないが、スピン波分散関係は著しい温度依存を示している。特に a 軸方向のスピン波分散関係 (b 軸方向のそれとほぼ同じ) は大きな温度依存を示しており、c 面内のスピン波エネルギーは温度上昇とともに c 軸方向のスピン波エネルギーより低くなり、強くソフト化している。この結果は c 軸方向に沿った一次元強磁性配列は温度によってほとんど影響を受けないので反して、c 面内の二次元強磁性秩序は温度上昇とともに大きな影響を受け、135 K 以上で小さな Q をもった反強磁性配列を安定化しうることを示している (図 1 参照)。すなわち、c 軸方向に

冷って強い強磁性的相互作用が働いき、c面内の磁気相互作用はc面内で反強磁性スピン配置を安定化させる働きをし、 Fe_2P 中では両者が競合していることを示している。

(3)常磁性散乱実験：300 Kから800 Kの温度範囲で、偏極中性子解析法によって Fe_2P 単結晶の常磁性散乱実験を行なった。図2は $\langle 002 \rangle$ ブラッグ点まわりのフリップング比Rの温度依存を示したものである。この図から分るように、 $T < 725 \text{ K}$ では Fe_2P 試料の内部で中性子がdepolarizeしていることがわかる。これは強磁性のshort range orderが T_c の3倍以上まで残っていることを示している。このようなgiant short range orderの存在は帯磁率のキュリー・ワイス則からのズレ、電気抵抗や熱膨張の温度依存にもみられており、 Fe_2P に本質的な現象であるといえよう。 $T_c = 725 \text{ K}$ で、試料内部での中性子のdepolarizationは消失し、完全な常磁性へ転移している。常磁性散乱断面積は、 $\langle 002 \rangle$ ブラッグ点まわりでc軸に沿って、インスタントQ法によって測定された。測定に用いたエネルギー積分範囲は -20 meV から $+20 \text{ meV}$ である。エネルギー積分してえた常磁性散乱断面積より評価した $\langle M(Q) \rangle^2$ が図3にQに対してプロットされている。 $T = 300 \text{ K}$ ではshort range orderが存在し、 $Q = 0$ で強い相関をもった準弾性散乱が観測されている。そこで、 $\langle M(Q) \rangle^2$ がQに対してローレンツ関数で表わせることを仮定して相関距離rを求める。r=5.5 Åとなった。実線は計算曲線で実測値との一致はよい。他方、完全なpara状態である750 Kの高温においてさえ、スピンのゆがみの二乗振中 $\langle M(Q) \rangle^2$ はかなりはっきりとしたQ依存性を示している。これは3d-電子の遍歴性の表われといえよう。これを最近田島らが提唱したモデルで解析した。それは、スピン波分散関係、磁気モーメントおよび様化帯磁率をモデルパラメーターとして含むもので、それらの実測値より評価した $\langle M(Q) \rangle^2$ のQ依存が図3の実線で示してある。両者の一致はほぼ満足できるものである。この結果は、

遍歴強磁性体においても、常磁性状態でのスピンのゆがみは交換相互作用、磁気モーメント、および様化帯磁率によってほぼ支配されていることを示している。同様な結果はFe, Niおよびインバー合金においても観測されている。

