

英語論文セミナー 第二回

2022/5/30
学籍番号：s0319007
氏名:上野智也

1 課題

1.1 アンビルセルの大きさ

supplyment にアンビルセルの大きさが書かれていなかったため、調べた値を以下に示す。

- ・株式会社システムズエンジニアリングの高圧ダイヤモンドアンビルセル
アンビル面サイズ 0.8mm 高さ 14mm(ねじ除く)
- ・東京大学高木研究室 10GPa 級対向アンビル超高压セル
セルサイズ $\phi 29 \times 42\text{mm}$
セルサイズ $\phi 22 \times 34\text{mm}$

論文及び supplyment を読むと、今回使用した試料の大きさは、横の長さが約 $80 \sim 100\mu\text{m}$ 、厚さが約 $80\mu\text{m}$ の不規則な五角形である。したがって、試料に比べてアンビルセルはとて大きいことが分かる。

1.2 $\text{BaFe}_2(\text{As}_{1-x}\text{P}_x)_2$ の結晶構造

本論文で用いている物質 $\text{BaFe}_2(\text{As}_{1-x}\text{P}_x)_2$ の結晶構造は以下に示す通りである。

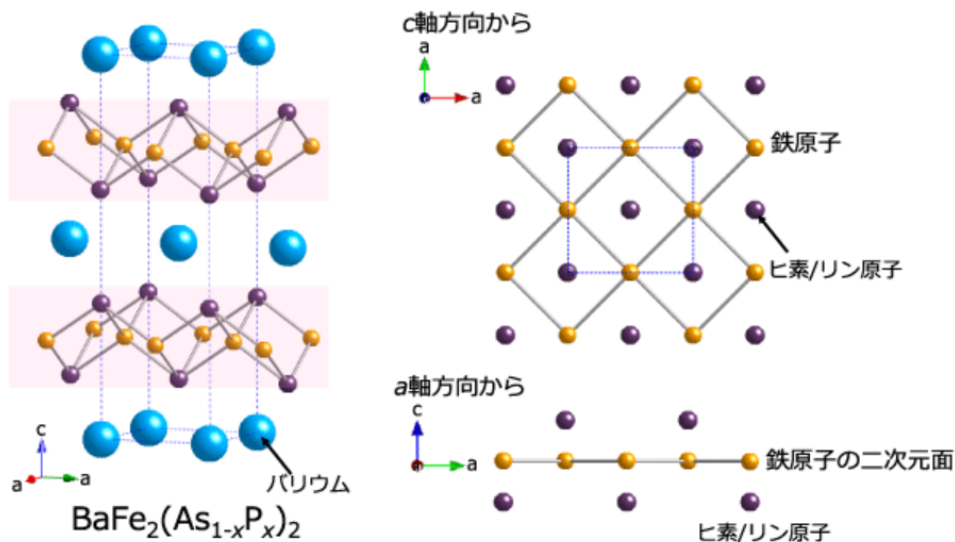


図 1 $\text{BaFe}_2(\text{As}_{1-x}\text{P}_x)_2$ の結晶構造

2 本文

図 2A に示すようなパルスシーケンスを用いて ODMR データを収集した。弱い磁場で温めてからデータを取ったので、超伝導に伴う反磁性も探ることができた。マイクロ波やレーザー照射による加熱を避けるため、測定に伴う超伝導状態への摂動を緩和する測定手順を考案した (20)。図 2 の B~D に、3 つのダイヤモンド粒子の 8.3 kbar における代表的な ODMR スペクトルを示す。このときの試料温度 (~ 7.7 K) は T_c (8.3 kbar において ~ 20.4 K、ゼロ磁場における交流磁化率を用いて決定) よりはるかに低い (20)。ODMR スペクトルは、異なる分裂を示す。これは周りの磁場によるゼーマン効果による分裂である。したがって、ODMR スペクトルは磁場を検出する手段を提供する。 NV_C のゼーマン分裂 (~ 64 MHz) は、 $T < T_c$ では NV_E のゼーマン分裂 (~ 658 MHz) の 10 倍小さいが、 $T > T_c$ ではその差ははるかに小さくなる (図 2G)。 NV_C の温度を変えたときの ODMR スペクトルを図 2E に示し、そこから分裂を抽出してプロットしたのが図 2F である。温められると、分裂の度合いは最初はほぼ一定であるが、約 17K 以降顕著に増加する。21K 以降は再び分裂が一定となる。超伝導との関連性を示すため、同じ実験で交流帯磁率データを追加収集した。これは、実験構成にモジュレーションコイルを追加したことで可能となった。マイクロコイルをピックアップコイルとして用いると、同じ温度で超伝導転移を意味する交流磁化率の急激な低下 (25, 26) が検出された (図 2F)。2 つの方法は、 T_c の測定においてよく一致した。

局所磁場分布の変化は、 NV_E と NV_F の分割の温度変化でも確認できる (図 2G)。 NV_C の挙動とは逆に、 NV_E は温めると分割の度合いが小さくなる。参考までに、 NV_F の分裂は温度に対してほぼ一定であり、これは NV_F が超伝導体から遠く離れているためであり、全磁場が変化していないと理解することができる。これ

らの観測結果は、先に説明した超伝導に伴う反磁性からの予想とよく一致する。線幅や ESR 線全体のコントラストに顕著な変化は見られなかった。これは、超伝導に伴う反磁性によって引き起こされる磁場勾配に比べ、ダイヤモンド粒子の大きさがはるかに小さかったためである。試料の大きさが有限であり、ダイヤモンド粒子と試料の間隔が狭いため、残留磁場があり、低温での NV_C のゼーマン分裂は ~ 64 MHz であった。また、3 つのダイヤモンド粒子は磁場に対してランダムな配向をしているため、試料が常伝導状態でもゼーマン分裂に違いが見られた。

本技術の大きなメリットの一つが、図 2H に示されている。前述のように、ある NV の中心に対する磁場の横方向と縦方向の成分は、その ODMR スペクトルから計算することができる。これにより、磁場のベクトルを再構築する手段を得ることができる。試料が常伝導状態であれば、NV 中心の向きは、試料の c 軸に沿った印加磁場方向に対して較正することができる。これにより、c 軸に沿った有効磁場ベクトルが得られ、温度の関数として追跡することができる (20)。これらの考察から、 NV_C 、 NV_E 、 NV_F が 8.3 kbar で感じる実効磁場ベクトルを決定した。 NV_C の場合、超伝導状態に入ると磁場ベクトルは短くなり、垂直方向から離れる方向に傾く。これは、 NV_C が試料の上部にあり、超伝導に伴う反磁性によって磁束線が試料の周囲で曲がっていることと矛盾しない。しかし、 NV_E の場合、超伝導状態では磁場ベクトルは長くなり、わずかに傾くだけである。ここでも、 NV_E が試料の脇に位置しているため、マイスナー状態では磁束線が垂直のまま密になることと矛盾しない。最後に、 NV_F によって感知される磁場ベクトルは、 NV_E と NV_C の挙動とは全く対照的に、超伝導相転移の間、実質的に一定である。極端な条件下で、完全なベクトル情報を空間分解能で収集できることは、この技術の重要な進歩の一つである。

参考文献

- [1] 株式会社 システムズエンジニアリング 「高圧ダイヤモンドアンビルセル」 閲覧日 2022/5/26
URL:https://www.systems-eng.co.jp/dcms_media/other/diaanvil_datasheet.pdf
- [2] 東京大学高木研究室 「10GPa 級対向アンビル超高压セル」 閲覧日 2022/5/26
- [3] spring-8 「鉄原子を含む高温超伝導体の仕組みを解くカギ「電子のネマティック液晶状態」を発見」
2012 年閲覧日 2022/5/26
URL:http://www.spring8.or.jp/ja/news_publications/press_release/2012/120621/

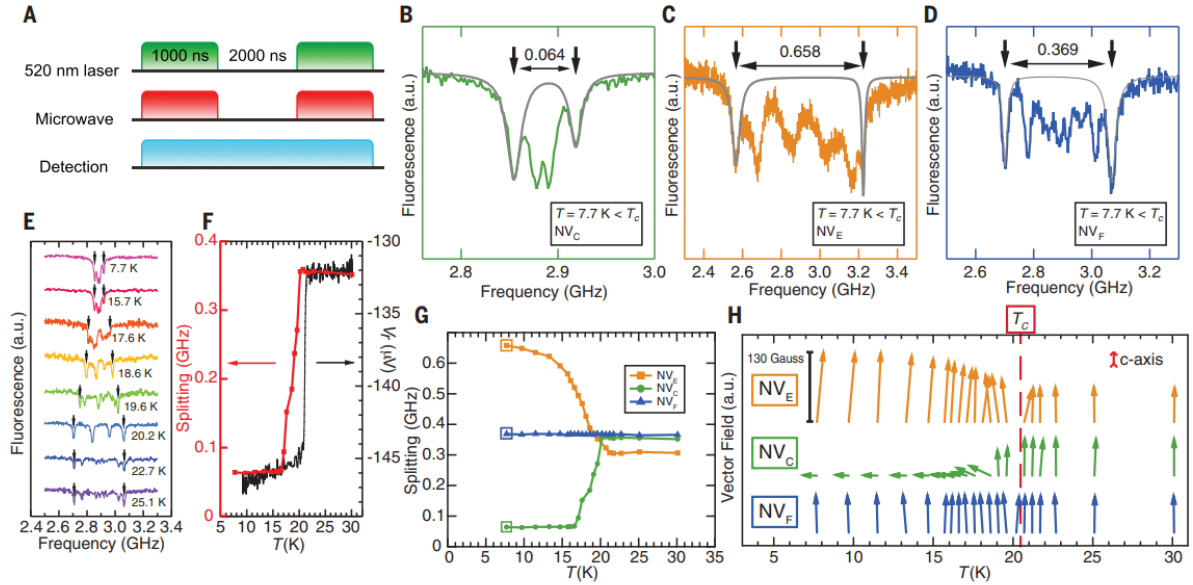


図2 図2 8.3 kbar における $\text{BaFe}_2(\text{As}_{0.59}\text{P}_{0.41})^2$ を NV センターを用いて感知した超伝導に伴う反磁性

図2のステートメント

(A) ODMR を用いたパルスシーケンス

(B~D) 7.7 K におけるそれぞれのダイヤモンド粒子の ODMR スペクトル。ゼーマン分裂を決定するためのローレンツフィットは、灰色の線で示されている。

(E) 違う温度での NV_C 中の NV の ODMR スペクトル

(F) 転移温度 T_c の決定における ODMR 法 (赤) と交流磁化率法 (黒) の比較。

(G) NV_C 、 NV_E 、 NV_F の NV センターに対するゼーマン分裂の温度による変化。

(H) NV_C 、 NV_E 、 NV_F の NV センターが感じる局所磁場ベクトルの、超伝導相転移に伴う変化。縦方向はサンプルの c 軸である。ODMR 測定は、レーザー出力 10mW、マイクロ波ピーク出力 30mW で行われた。試料の c 軸に沿って 68G の外部磁場が印加された。

3 用語

- ・ゼーマン効果

原子から放出される電磁波のスペクトルにおいて、磁場が無いときには単一波長であったスペクトル線が、原子を磁場中においた場合には複数のスペクトル線に分裂する現象である。

縮退していたエネルギー準位が磁場の印加によって分裂したともいえる。

- ・交流磁化率

交流磁場をかけた時の応答として現れる動的な磁化率を交流磁化率と呼ぶ。

- ・ローレンツ関数

分光分析においてスペクトルの波形分離の際、孤立スペクトルの形状、バックグラウンドの形状を仮定するときに用いる関数。この関数をもちいてバックグラウンドの前処理やスペクトル強度のフィッティングを行う。

以下の形で表される。

$$f(x) = A \frac{w^2}{4(x - x_0)^2 + w^2} \quad (1)$$

ただし、 A は強度、 x_0 は位置、 w は幅である。

- ・ピックアップコイル

磁場の時間変化を求めるためのコイル。

- ・G(ガウス)

磁場の強さの単位。1G=10⁻⁴T(テスラ)。地磁気は 0.5G