



# 鉄系超伝導体の薄膜成長

名古屋大学 工学研究科  
生田博志

## 1. はじめに

近年、リニア新幹線の着工をきっかけに、新聞・テレビなどでも超伝導という言葉が登場する頻度が増加し、一般にも知られる現象となってきた。超伝導の応用はなにもリニア新幹線に限られるわけではなく、例えば最近は多くの病院で超伝導電磁石を用いた核磁気共鳴画像 (MRI) 装置が導入され、病気やけがの診断に欠かすことのできない装置となっている。さらに、現在、精力的な研究・開発が進められている量子コンピュータでも超伝導体を用いた素子が量子ビットの有力候補の一つと考えられており、世界初の商用量子コンピュータとされる D-Wave One や、ごく最近 50 Q-bit にアップグレードされて話題の IBM Q でも超伝導量子ビットが使われている<sup>1)</sup>。

超伝導は、ヘリウムの液化に世界で初めて成功したカマリング・オンネスが、1911年に Hg の抵抗率を低温まで測定する過程で、4.2 K 付近で突然、抵抗率が測定不能ほど小さくなることで発見された<sup>2)</sup>。以来、様々な物質が超伝導になることが確認され、超伝導転移温度( $T_c$ )の記録も徐々に上昇した。特に、1986年に発見された銅酸化物超伝導体は、それまでの記録を一気に塗り替える高い  $T_c$  を示した。それまで超伝導を理論的に非常によく説明することに成功していた BCS 理論では  $T_c$  の上限が 30~40 K 程度とされていたが、銅酸化物超伝導体はその「壁」を軽々と乗り越えたために、世界的な研究フィーバーを引き起こした。銅酸化物超伝導体の  $T_c$  の記録は、現在では大気圧で 136 K に達し、圧力下では 164 K である。また、1991年にはアルカリ金属をドープした C<sub>60</sub>でも超伝導が見いだされ、 $T_c$ の最高は 38 K に達している。2001年には MgB<sub>2</sub>が 39 K の  $T_c$ を持つことが見いだされ、これは現時点での金属系超伝導体で最高の  $T_c$ である。さらに、2008年の LaFeAs(O,F)をきっかけに多くの鉄系超伝導体が発見され、 $T_c$ は最高で 56 K に達している。また、2015年には H<sub>2</sub>S に超高压を加えることで 203 K で超伝導転移すると報告され<sup>3)</sup>、大きな話題となっている。

このように、これまで多くの超伝導体が見い出され、 $T_c$ が従来の理論上の上限と考えられていた「BCS の壁」を超える物質も発見されるに至っている。特に、銅酸化物系と鉄系超伝導体は、豊富な物質バリエーションを持ち、かつ大気圧で高い  $T_c$ を示す。そのため、集中的に多くの研究がなされている。中でも、良質な薄膜成長は応用の観点からは必要不可欠な技術である。また、基礎物性評価の観点からも、バルク単結晶と並んで、単結晶薄膜の重要性は高い。紙面の都合もあるため全てを網羅することはできないが、本稿では我々の研究を中心に、最近の鉄系超伝導体の薄膜成長に関連する研究を紹介することとしたい。

## 2. NdFeAs(O,F)の薄膜成長

鉄系超伝導体は、最初に 2006年に LaFePO が 4 K で超伝導を示すことが報告されていたが<sup>4)</sup>、 $T_c$ がそれほど高くないこともあり、最初はあまり注目されていなかった。しかし、2008年に LaFeAs(O,F)で  $T_c=26$  K が報告され<sup>5)</sup>、一気に研究が広がった。その結果、短期間で La を Nd ないしは Sm で置換すると最高で 56 K の  $T_c$ を示すことや、(Ba,K)Fe<sub>2</sub>As<sub>2</sub>などでも高い  $T_c$ を示すことなどが見出され