

鉄系超伝導体の薄膜成長

Thin Film Growth of Iron-Based Superconductors

生田博志 (名大・工)

Hiroshi Ikuta (Nagoya Univ.)

E-mail: ikuta@nuap.nagoya-u.ac.jp

2008 年以来、高い超伝導転移温度 (T_c) を有する鉄系超伝導体が相次いで発見されている。これらの新規高温超伝導体の基礎及び応用両面の重要性から、薄膜成長の研究が世界的に精力的に展開されている。特に、 $LnFeAsO$ ($Ln=La, Nd, Sm$ 等、以後 1111 系)、 $AEFe_2As_2$ ($AE=Ba, Sr, Ca$ 、以後 122 系)、および $Fe(Se,Te)$ (以後 11 系) の 3 系が、薄膜研究の中心となっている。その理由としては、1111 系が現時点でのバルク体の最高の T_c を記録している点、122 系は結晶成長が比較的容易であり、実際、早い時期から高品位の薄膜が報告されている点、また 11 系は、バルク体での T_c は最高で 14 K 程度とやや低いが、薄膜ではこれを上回る T_c も報告されている点などが挙げられる。本講演では、これらの研究の現状を紹介するとともに、我々の分子線エピタキシー (MBE) 法による薄膜成長について報告する。

我々は主に $NdFeAs(O,F)$ と $BaFe_2(As,P)_2$ の薄膜成長に取り組んでいるが、本講演では $NdFeAs(O,F)$ を中心に報告する。 $LnFeAsO$ は低温で磁気転移 (スピン密度波 (SDW) または反強磁性転移) を示すが、O を F または H で部分置換することで超伝導を示す。 T_c は最高で 56 K に達するため、発見当初から高い関心が寄せられている。しかし、この系は単結晶成長の研究からも分かるように、他の鉄系超伝導体に比べても結晶成長が困難である。その理由は、超伝導組成が 5 元素から構成され、蒸気圧が大きく異なる元素を含むこと、特に O と F (または H) という複数のアニオンを含む点にあると考えられる。我々の薄膜成長でも、F を含まない母相薄膜が (いくつかの紆余曲折を経て) 再現性良く成長可能になった [1] のちも、単純に成膜パラメータを調整しただけでは、F を部分置換した超伝導薄膜を得ることはできなかった。しかし、その後、母相の $NdFeAsO$ 層上に $NdOF$ 層を成長すると、フッ素が 1111 層に拡散してドーピングされることを見出した [2]。また、Ga をフッ素ゲッターとするフッ素供給量の制御法などを開発し [3]、様々な基板上にバルク試料に匹敵する T_c を示す超伝導薄膜を再現性よく成長することが可能になった [4]。

以上の二段階成長により、超伝導薄膜が再現性良く得られることがわかった。しかし、この手法では反応性が高い $NdOF$ 層と 1111 層の界面に不純物が形成される、また試料最表面が超伝導層でないために積層型の接合作製に適さない、などの問題がある。そのため、F 置換した $NdFeAs(O,F)$ を直接成長することにも取り組んできた。いくつかの手法を試みてきたが、最近、主に基板温度の高温化と原料るつぼ材の見直しによる成膜雰囲気改善により原料の基板上でのマイグレーションが向上した結果、超伝導薄膜の直接成長に成功した [5]。また、他のグループからも F 源となる原料を変えることで超伝導組成の直接成長が可能になったことが報告された [6]。

以上のように、1111 薄膜では F 置換組成の成長手法の確立が最大の課題であるが、最近、いくつかの進展が見られた。本講演では、これらの研究成果を中心に、鉄系超伝導体の薄膜成長の現状について報告する。

- [1] T. Kawaguchi *et al.*, Appl. Phys. Express **2** (2009) 093002. [2] T. Kawaguchi *et al.*, Appl. Phys. Lett. **97** (2010) 042509. [3] T. Kawaguchi *et al.*, Appl. Phys. Express **4** (2011) 083102. [4] H. Uemura *et al.*, Solid State Commun. **152** (2012) 735. [5] M. Chihara *et al.*, Physica C **518** (2015) 69. [6] H. Sugawara *et al.*, Supercond. Sci. Technol. **28** (2015) 015005.