

有機多環縮合炭化水素のエレクトロニクス応用と超伝導

(岡山大院自然) ○久保園芳博, 江口律子, 後藤秀徳, 神戸高志

Application of phenacene molecules toward electronic devices and their superconductivity

(Graduate School of Natural Science and Technology, Okayama

University) ○Yoshihiro Kubozono, Ritsuko Eguchi, Hidenori Goto

and Takashi Kambe

有機多環縮合炭化水素のエレクトロニクス応用と超伝導特性に関して報告する。有機多環縮合炭化水素分子のうち、ベンゼン環がW型につながった構造を有する分子系列をフェナセンと称する。これは、グラフェンをアームチェア型に切り取った構造を持ち、ベンゼン環が直線状につながった分子であるアセンとは異なる電子的特性を示す。たとえば、フェナセン分子の HOMO レベルはアセンに比べて深く、HOMO-LUMO ギャップは広い。また、アセンではベンゼン環数が増大すると急激に HOMO-LUMO ギャップが小さくなるのに対して、フェナセン分子ではほとんど変化が起こらないという特徴を有する。このため、分子が空気中でも安定であり、トランジスタを始めとするエレクトロニクス応用に適している。しかしながら、フェナセンをエレクトロニクス材料として用いる試みは、これまでほとんど行われてこなかった。これは、これらの試料の合成がほとんど手を付けてこられなかったからである。

我々は、2008年に5個のベンゼン環がW型につながった[5]フェナセン(ピセンと呼ばれる)の電界効果トランジスタ(FET)を初めて作製し、同じく5個のベンゼン環を有するアセン型分子であるペンタセンと同様か、それ以上の電界効果移動度が得られることを示した。¹⁾ これ以降、我々の研究グループを中心にフェナセンを活性層とする薄膜ならびに単結晶を使った FET に関する研究が行われ、この分子系列において非常に興味深い特性が得られることが明らかになってきた。まず、FET の動作速度の指標になる移動度に関しては、6個のベンゼン環を持つ[6]フェナセンの薄膜 FET において、 $7.4 \text{ cm}^2 \text{ V}^{-1} \text{ s}^{-1}$ が得られている。²⁾ これは、これまでに有機 FET で記録された世界最高の移動度に匹敵するものである。さらに、単結晶 FET においては、 $8.6 \text{ cm}^2 \text{ V}^{-1} \text{ s}^{-1}$ の移動度が記録されている。実際には、フェナセン FET の性能を引き出すために、絶縁膜-活性層界面や電極-活性層界面において様々な工夫(界面制御)が施されている。上記に示した高い移動度を得られているのは、フェナセン分子がヘリングボーンスタッキング面(単斜晶結晶の *ab* 面)の *b* 軸方向に非常に大きなトランスファー積分を有することに起因する。フェナセン薄膜は、伝導が生じる *ab* 面を絶縁膜に平行に配置した形で成長しており、これは FET デバイスを作製する上で非常

に有効である。結晶も薄い平板結晶として成長するために、伝導面を絶縁膜界面に平行にしてデバイス作製することが可能である。フェナセン FET デバイスは単に移動度が高いだけではなく、酸素の吸収によって、FET の特性が飛躍的に向上するという興味深い特徴を持っている。³⁾ 実際には酸素センシング特性は、光照射下においてのみ得られることがわかっており、⁴⁾ どのような機構で生じるかもわかってきた。

本シンポジウムでは、我々がフェナセン系列の分子を使ってこれまで明らかにしてきたデバイスの興味深い特性と、デバイスの高度化のための用いてきた様々な手法について述べることにする。報告する内容は、(1) フェナセン FET のデバイス特性、(2) 酸素応答特性、(3) 低電圧駆動デバイス、(4) バイアスストレス効果の克服、(5) フレキシブル化、(6) 高濃度キャリア蓄積ならびに(7)アンバイポーラ特性の実現などである。これらの研究成果を示すことは、フェナセンの FET への可能性を示すだけでなく、界面制御を通じた FET デバイスの高度化へアプローチの一端を示すことになる。FET デバイスの高性能化は、材料の適正化と界面制御の詳細なコンビネーションによって得られるものであり、その意味ではフェナセン FET の研究の進展は、それが成功裏に達成されたことを意味している。

フェナセン系分子は、単にデバイス応用の面から優れた特性を示すだけではなく、金属原子を結晶中に挿入することによる金属化と超伝導化という非常に興味深い特性を示す。⁵⁾ 金属ドープフェナセン結晶の超伝導の研究は、「ピセンへのアルカリ金属原子挿入によって 18 K の超伝導が出現すること」を我々が報告したことを契機に始まった。現在までに報告された最も高い超伝導転移温度は 33 K である。⁶⁾ 最近、いくつかの研究グループで、薄膜においても金属化と、超伝導転移が見られている。本シンポジウムにおいては、超伝導体の特徴についてこれまでに得られた結果の報告を行うとともに、今後の課題を述べることにする。なお、多環縮合炭化水素の拡張系であるグラフェン・グラファイトの超伝導についても報告したいと考えている。

- 1) H. Okamoto *et al.* J. Am. Chem. Soc.130, 10470 (2008).
- 2) R. Eguchi *et al.* submitted.
- 3) N. Kawasaki *et al.* Appl. Phys. Lett. 94, 043310 (2009).
- 4) Y. Sugawara *et al.* Sensors and Actuators B: Chemical, 171, 544 (2012).
- 5) R. Mitsunashi *et al.* Nature 464, 76 (2010).
- 6) M. Xue *et al.* Sci. Rep. 2, 289 (2012).