

アルカリ金属拡散によるフラーレンナノウィスカーの超伝導化

Alkali-metal-doped fullerene nanowhiskers for the new superconductive carbon

物材機構 [○]竹屋浩幸, 今野俊生, 平田千佳, 若原孝次, 宮澤薫一, 藤岡正弥, 田中将嗣,
山口尚秀, 高野義彦

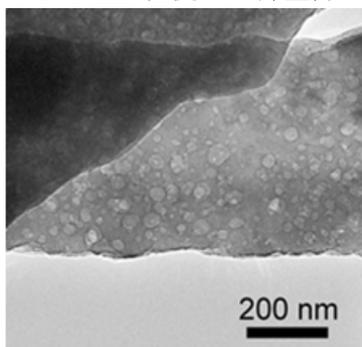
NIMS, [○]Hiroyuki Takeya, Toshio Konno, Chika Hirata, Takatsugu Wakahara, Kun'ichi Miyazawa,
Masaya Fujioka, Masashi Tanaka, Takahide Yamaguchi, Yoshihiko Takano,

E-mail: takeya.hiroyuki@nims.go.jp

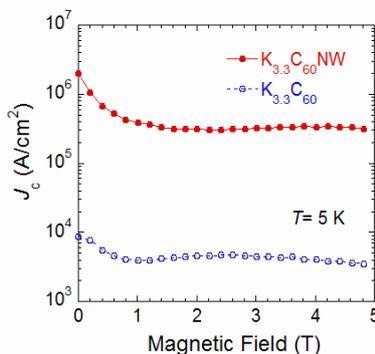
【はじめに】炭素からなる物質は、グラファイト、ダイヤモンド、カーボンナノチューブ、フラーレン、そしてグラフェンなど多様な形態を有する。超伝導とも関係が深く、例えばカルシウムをインターカレートしたグラファイト(CaC_6 ; $T_c=11.5$ K)、硼素をドーブしたダイヤモンド($T_c=8$ K)、カリウムやセシウムをドーブしたフラーレン (K_3C_{60} ; $T_c=19$ K, $\text{Cs}_2\text{RbC}_{60}$; $T_c=33$ K)などが代表例として知られている。我々は、宮澤らのグループが作成したフラーレンナノウィスカー C_{60}NW に対してアルカリ金属 (K, Rb, Rb-Cs) の添加・熱拡散を行い超伝導化の研究を行っている。

【フラーレン】まず、これまで多くの報告があるアルカリ金属のフラーレン C_{60} へドーブの研究についてふれる。 C_{60} 自体は fcc の結晶構造をとる半導体であるが、Octahedral-site と Tetrahedral-site の空間を有し、それらの位置にアルカリ金属 (例 K) が侵入することで、キャリアが導入され導電性あるいは超伝導を示すようになる。 K_xC_{60} では $x=1,3,4,6$ の物質が存在し、それぞれ fcc, bct, bcc 構造をとる。 $x=3$ の fcc のときだけ超伝導 $T_c=19$ K を示す。 $x=3$ では、 C_{60} の 3 重縮退している t_{1u} 軌道がちょうど half-filled し、Fermi レベルの状態密度 N_{EF} が最も高い状態になる。また、fcc 構造の phonon frequency は他の bct($x=4$)や bcc($x=6$)より高いので、BCS 理論による超伝導転移温度を上げる positive な要因となる。ほかの Li, Na, Rb, Cs やそれらの合金をドーブした場合の格子定数と T_c の関係では、格子定数の増大とともに T_c が上昇する。これは t_{1u} -band の narrowing により N_{EF} が高くなるためである。

【フラーレンナノウィスカー】アルカリ金属を添加した C_{60}NW では、 C_{60} と全く同じように $x=3$ のドーブ量の時に最も超伝導を示す。 C_{60} のと比較しながら実験を行った結果、著しい違いがあることが分かった。K の C_{60}NW と C_{60} へのドーブ実験で最も異なる点は、超伝導相 K_3C_{60} 収量 (Shielding vol. fraction) で、 $\text{K}_{3,3}\text{C}_{60}$ では $200^\circ\text{C}24\text{h}$ で超伝導相が 1% 以下であるのに対して $\text{K}_{3,3}\text{C}_{60}\text{NW}$ では、80% 以上の収量となる。透過電顕の結果、左図のような C_{60}NW 作成プロセスで生じる 10nm 程度の内部空隙が存在し、K のドーピングを促進する働きをしている。右図は、磁化カーブからビーンモデルによ



C_{60}NW のナノ空隙の透過電顕写真



K を拡散させた C_{60}NW と C_{60} 試料の臨界電流密度の磁場依存性

化カーブからビーンモデルによって見積もった $T=5\text{K}$ の臨界電流密度 $J_c(\text{A}/\text{cm}^2)$ の磁場依存性である。 10^5 を越える高い J_c が磁場 50kOe においてもほとんど低下することがないことを示しており、 $\text{K}_3\text{C}_{60}\text{NW}$ が応用に向けた超伝導素材として高いポテンシャルを持つことを示している。講演では Rb, Cs-Rb の場合について比較しながら述べる。

Ref. H. Takeya, R. Kato, T. Wakahara, K. Miyazawa, T. Yamaguchi, T. Ozaki, H. Okazaki, Y. Takano, Mat. Res. Bull. 48 (2013) 345-348., H. Takeya, K. Miyazawa, R. Kato, T. Wakahara, T. Ozaki, H. Okazaki, T. Yamaguchi and Y. Takano, Molecules 17 (2012) 4851-4859.