カーボンナノチューブの電界放出電子源への応用

Application of Carbon Nanotubes as Field Emission Electron Sources

齋藤 弥八

1991年に偶然発見されたカーボンナノチューブは、エレクトロニクスからエネルギー分野まで広範な応用が期待される21世紀の新素材である。実際これまでに、樹脂に導電性をもたせるための添加剤、走査型プローブ顕微鏡の探針などとしてすでに利用されている。ここでは、発光型表示素子に一大変革をもたらす可能性があるとして、最近注目されているナノチューブを電界放出電子源とするディスプレイの開発研究を紹介する。

固体表面に強い電界がかかると、電子を固体内に閉じ込めている表面のポテンシャル障壁が低くかつ薄くなり、電子がトンネル効果により、真空中に放出される。この現象を電界放出という。電界放出を観測するには、 10^7 V/cm (1 V/nm) オーダーの強い電界を表面にかけなければならない。このような強電界を実現するために、通常は先端を鋭く尖らせた金属針が用いられる。その針に負の電圧をかけると、尖った先端に電界が集中し、必要とされる強電界が得られる。カーボンナノチューブはこの種の電子エミッターとしてうってつけの形状をもっているばかりでなく、機械的強度、表面の化学的安定性などにおいてたいへん優れている。

1998年に、伊勢電子工業と筆者の共同研究によりナノチューブ冷陰極をもつ発光ディスプレイがはじめて試作され、実用の可能性が示された¹⁾。これを契機に多くのディスプレイメーカーがナノチューブ電子源を用いた電界放出ディスプレイ (Field Emission Display: FED) の研究を開始し、その実用化への努力がなされている。

最初に試作されたディスプレイ素子は、屋外大型表示用の画素として実用されている高電圧型蛍光表示管をベースに、そのフィラメント状熱陰極の代わりにカーボンナノチューブ冷陰極を配置したもので、グリッドおよび陽極(蛍光スクリーン)からなる三極真空管の一種である¹⁾。ナノチューブ陰極は、電流密度で $0.1 \sim 1$ A/cm² を取り出すことが可能で、また、寿命試験においても10,000時間以上の安定動作が確認され、カーボンナノチューブが電界放

図1 三極型フラットパネルの構造模式図

出材料として実用可能であることが示された²⁾。

カーボンナノチューブを用いた平面ディスプレイの実現までには、駆動電圧の低減と電子放出の均一化などいくつかの解決すべき課題があるが、スクリーン印刷によりナノチューブ陰極を形成したFEDパネルが試作されている。図1に三極型パネルの構造模式図を示す。伊勢電子工業はスクリーンサイズ66 mm×66 mm、画素サイズ3.0 (RGB: 赤緑青) mm×2.54 mmの三極型カラーFEDパネルを試作し、陽極電圧6 kV、陰極電流密度1 mA/cm²において 10^5 cd/m²を超えるきわめて明るい輝度を得ている³⁾。また、韓国のサムソンが試作した9インチ(対角)、0.54 mm×0.32 mmピッチの二極型カラーFEDパネルには、200 cd/m²の輝度で動画が映し出されている⁴⁾(10^5 cd/m²は正視できないほどまぶしい。200 cd/m²は液晶ディスプレイ (Liquid Crystal Display: LCD) 程度に暗い)。

電界放出電子源は、熱陰極とは異なり陰極を加熱する必要がないので、消費電力が低く、また高い電子電流密度を得ることができる。さらに、電子源に使用される炭素は資源としては豊富であり、廃棄物処理の点でも問題ない。このようにカーボンナノチューブ電界放出電子源は省資源、省エネルギー、環境適合性など、今日の社会的要請に応えるものである。

文 献

- 1) Y. Saito, S. Uemura, K. Hamaguchi: *Jpn. J. Appl. Phys.*, **37**, L346 (1998)
- 2) S. Uemura, T. Nagasako, J. Yotani, T. Shimojo, Y. Saito: Society for Information Display (SID): '98 Digest, pp. 1052-1055 (1998)
- 3) S. Uemura, J. Yotani, T. Nagasako, Y. Saito, M. Yumura: Proc. Euro Display '99 (19th International Display Research Conference (IDRC)), pp. 93-96 (1999)
- 4) W. B. Choi, D. S. Chung, S. H. Park, J. M. Kim: SID '99 Digest, pp. 1134-1137 (1999)