

## 垂直配向単層カーボンナノチューブ膜と金属面との接合

Bonding of vertically-aligned single-walled carbon nanotube films to metal surface.

伝正 \*渡辺 誠 (東大工) 伝学 石川 桂 (東大工)  
 大川 潤 (東大工) 伝正 塩見 淳一郎 (東大工)  
 伝正 丸山 茂夫 (東大工)

Makoto WATANABE, Kei ISHIKAWA, Jun OKAWA, Junichiro SHIOMI and Shigeo MARUYAMA  
 Dept. of Mech. Eng., The Univ. of Tokyo, 7-3-1 Hongo, Bunkyo-ku, Tokyo 113-8656

Towards the investigation of phase change phenomena and convective heat transfer on a vertically-aligned single walled carbon nanotube (VA-SWNT) film with super-hydrophobicity and high thermal conductivity, we have attempted to establish firm contacts between VA-SWNT films and metal surfaces. By depositing a thin metal layer on a VA-SWNT film, the film was connected to a bulk metal surface by annealing the system at high temperature. The resulting morphologies of the contacts were observed by the scanning electron microscopy.

Key Words : Single-walled carbon nanotubes, Vertical alignment, Bonding

### 1. 緒言

我々のグループでは以前、炭素源としてアルコールを用いることで、高純度 SWNT のバルク合成が可能となることを見出した<sup>(1,2)</sup>。これと Co/Mo 混合酢酸塩溶液を用いたディップコート触媒担持法とを組み合わせることで、シリコンや合成石英などの平滑基板上への SWNT 直接生成法が開発された<sup>(3,4)</sup>。さらに、CVD 中の触媒活性を高めることにより、Fig.1 に示すように基板表面に垂直配向した SWNT 膜 (VA-SWNT 膜) が生成可能であることを見出した<sup>(5,6,7)</sup>。

また、Fig.2 に示すように接触角が 145 度以上という非常に高い撥水性を有することを見出して、この膜を簡単に剥離して、再付着させる技術が確立した<sup>(8,9)</sup>。また、カーボンナノチューブが有する高熱伝導性を利用して、相変化現象や対流伝熱についての検討に加えて電子部品、機器等の冷却性能向上が期待できると着想した。

そこで、Fig.3 に示すような実験装置を試作し、VA-SWNT 膜と金属面との強固な接着を試みた。VA-SWNT 膜に真空蒸着によって金薄膜を形成し、金薄膜面を他の金属ブロック面と接触させて、あるいはろう材を間に挟み込んで、高温でのアニールを行うことでの強固な接着に成功した<sup>(10,11)</sup>。

本報では、超撥水性や大きな熱伝導率や表面微細構造を有する VA-SWNT 膜について接合前後の表面性状を電界放出形電子顕微鏡 S-4800 (FE-SEM) を使用して、観察した結果について比較したので報告する。

### 2. FE-SEM による観察結果

Fig.4~7 は、それぞれの表面について 50 倍、1000 倍、10000 倍の FE-SEM 画像である。

Fig.4 は、アルコール CVD 装置によって生成した VA-SWNT 膜表面である。石英基板上にあり、非常に平坦である。

Fig.5 は、Fig.3 の方法で、銅ブロックに接合させた触媒側の VA-SWNT 膜表面である。触媒が残っているのか細かな粒子が残っているようにも見えが、比較的平坦である。(適正温度と思えるアニール温度 750℃で接合を実施した。)

Fig.6 は、失敗例だが、アニール温度 850℃と高温で接合を実施した為、何らかの原因で VA-SWNT 膜が剥れ、ろう材が凝集しているようにも見え、点状に細かな穴が生じてしまっている。

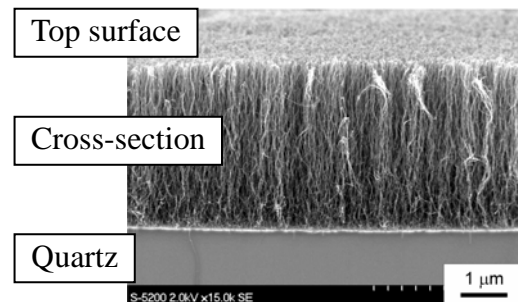


Fig. 1. Typical FE-SEM image of the VA-SWNT film grown on a fused quartz substrate.



Fig. 2. Picture of water droplet placed on the VA-SWNT film.

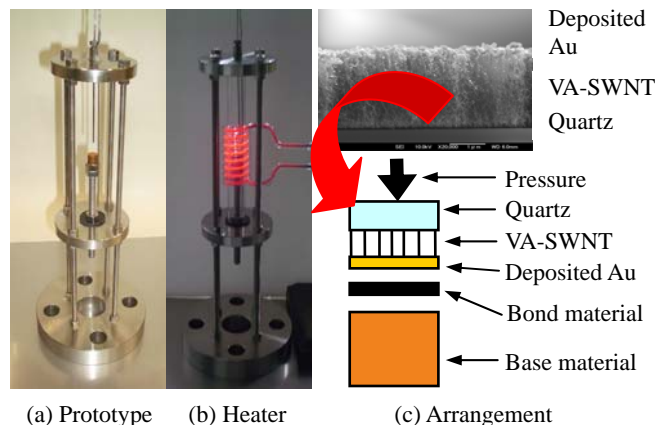


Fig. 3. Experimental apparatus.

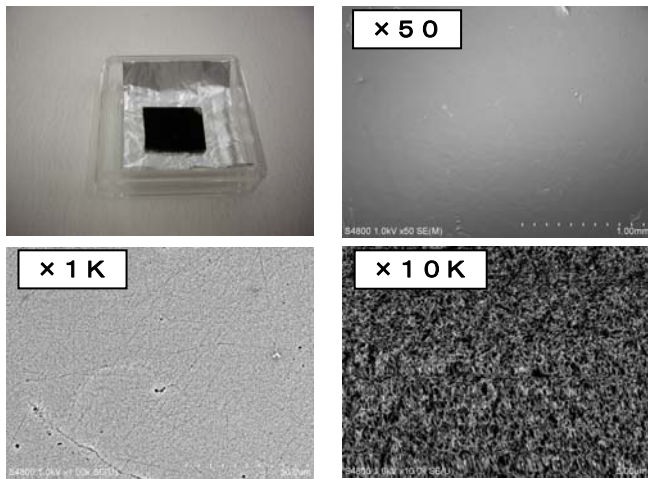


Fig. 4. Several pictures of the VA-SWNT film.

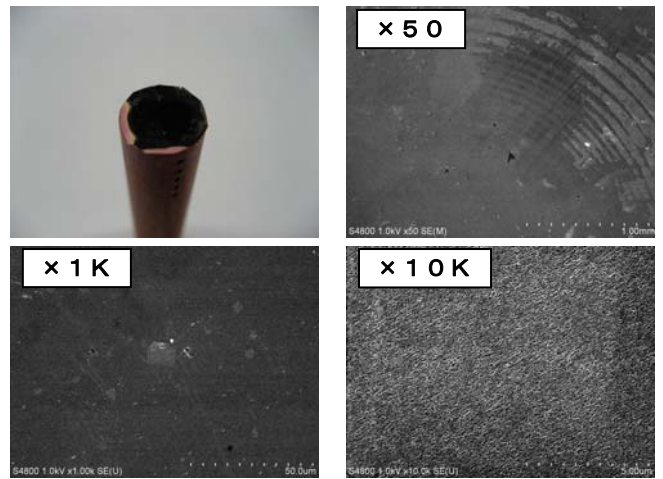


Fig. 5. Several pictures of the VA-SWNT film. (Side of catalyst)

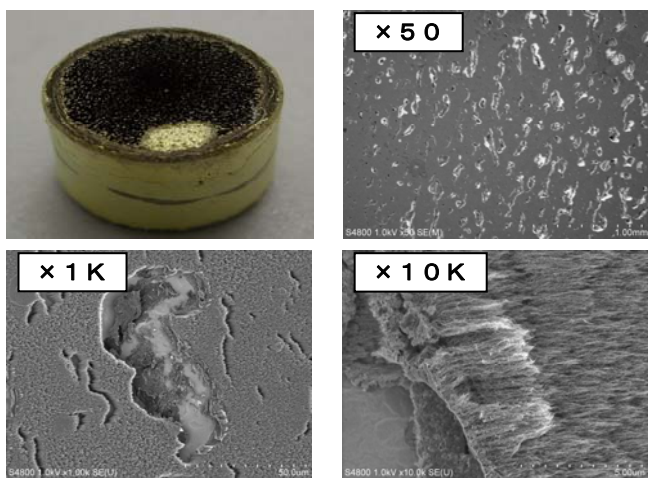


Fig. 6. Several pictures of the VA-SWNT film. (Failure example)

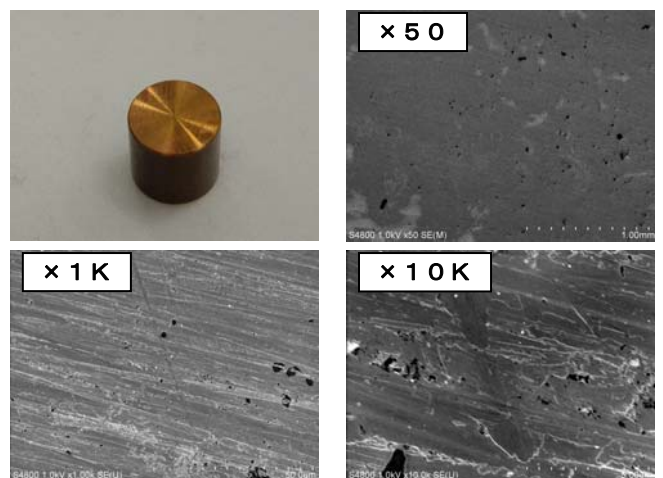


Fig. 7. Several pictures of the VA-SWNT film. (Surface of copper)

Fig.7は、従来より伝熱ブロックとして多数使用されている銅表面であるが、多数の研磨痕や穴が見られる。

### 3. 伝熱実験への VA-SWNT 膜の使用

#### 3.1 VA-SWNT膜接合高温加熱面への液滴の衝突冷却実験

Fig.8 のように VA-SWNT 膜を接合した高温加熱面への液滴の衝突冷却実験を行ない<sup>(12)</sup>。Fig.9 のような冷却特性を測定し、銅表面と VA-SWNT 膜表面の場合との違いを見出した。

なお、実験前後で VA-SWNT 膜の剥離は生じなかった。

#### 3.2 VA-SWNT膜接合高温加熱面からのプール沸騰実験

Fig.8 と同様な VA-SWNT 膜を接合した高温加熱面からのプール沸騰実験を現在行っており、近く発表予定だが、沸騰曲線において銅表面と VA-SWNT 膜表面の場合との違いが測定されているがもう少しデータの検証が必要である。

なお、実験前後で VA-SWNT 膜の剥離は生じなかった。

### 4. まとめ

超撥水性や大きな熱伝導率や表面微細構造を有する垂直配向単層カーボンナノチューブ膜を伝熱加熱面に接合できた。VA-SWNT 膜にとって過酷と思われる液滴の衝突冷却実験やプール沸騰にも充分耐用できるほど、強固に接合できたことが確認された。この膜面を使用することで伝熱促進するのか、あるいは阻害されるのかは現段階では、不明ではあるが、VA-SWNT 膜が伝熱実験に充分耐え得ることが確認できたことは意義がある。さらにデータの収集と検討を進める。

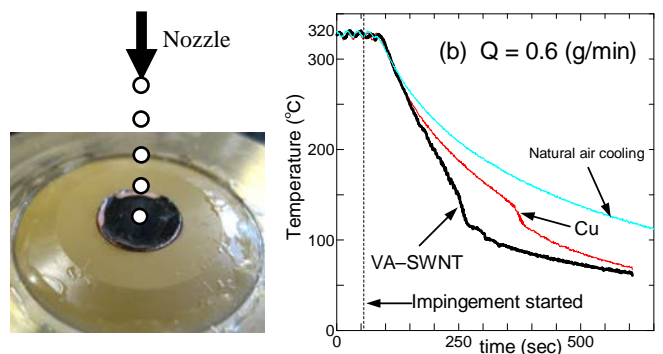


Fig. 8. Photos of a VA-SWNT film connected to a heat transfer block.

Fig. 9. Cooling characteristics of the heat transfer surface.

### 参考文献

- (1) S. Maruyama et. al., Chem. Phys. Lett. **360** (2002), 229.
- (2) Y. Murakami et. al., Chem. Phys. Lett. **374** (2003), 53.
- (3) Y. Murakami et. al., Chem. Phys. Lett. **377** (2003), 49.
- (4) Y. Murakami et. al., Jpn. J. Appl. Phys. **43** (2004), 1221.
- (5) Y. Murakami et. al., Chem. Phys. Lett. **385** (2004), 298.
- (6) S. Maruyama et. al., Chem. Phys. Lett. **403** (2005), 320.
- (7) Y. Murakami et. al., Carbon. **43** (2005), 2664.
- (8) Y. Murakami et. al., Chem. Phys. Lett., **422** (2006), 575.
- (9) 渡辺・他 4 名, 第 43 回日本伝熱シンポジウム, **1** (2006), 193.
- (10) 渡辺・他 5 名, 第 44 回日本伝熱シンポジウム, **3** (2007), 615.
- (11) 渡辺・他 5 名, 第 33 回フラーレン・ナノチューブ総合シンポジウム, (2007), 183.
- (12) 渡辺・他 5 名, 第 45 回日本伝熱シンポジウム, **1** (2008), 99.