

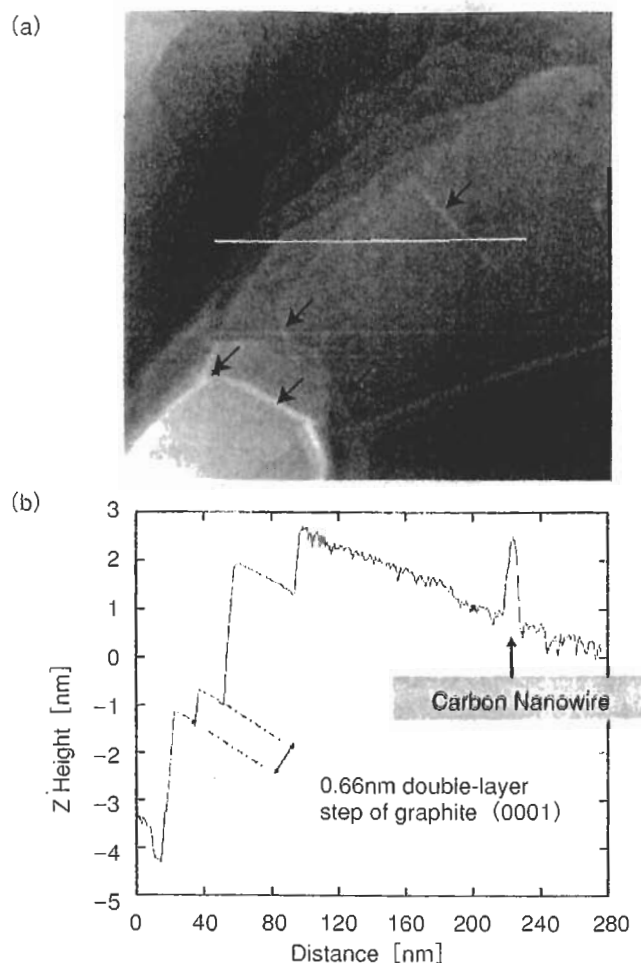


Fig 1 カーボン・ナノワイヤのSTM像 (a、矢印で示したのがナノワイヤ)、およびSTM像中の白線部分の断面プロファイル (b)。グラファイトの原子ステップにより囲まれた基底面テラスにナノワイヤが成長している

ルに炭素原子を固溶させ、超高真空中で熱処理して表面にワイヤ状に析出させる。このナノワイヤは自己再生可能で、耐酸化性と電気伝導性を併せもつのが特徴。走査型トンネル顕微鏡 (STM) の探針に应用できるほか、電池用電極、超高真空材料などへの展開が見込まれる。

新製法で得られたナノワイヤは、直径が1 nm～100nmで、長さが100nm～数 μ m。炭素を約0.3at.%固溶したニッケル単結晶の(111)面をSTMで観察したところ、グラファイト基底面およびその上にナノワイヤが成長していることが分かった (Fig 1)。従来の研究では、表面析出法により形成される炭素皮膜層はグラファイトであるとされてきた。

表面およびナノワイヤが炭素のみで構成されていることは、高分解能の走査オージェ電子顕微鏡 (SAM) で確認した (次ページFig 2)。ナノワイヤの成長メカニズムは、高温により内部から拡散してきた炭素原子

物材機構・ナノマテリアル研究所

外部炭素源不要のナノワイヤ創製法を開発
固溶した炭素原子の表面析出を利用
STM探針や電極材料などへ展開

物質・材料研究機構ナノマテリアル研究所の藤田大介主席研究員 (ナノデバイスグループ) らは、外部炭素源を用いない新しいカーボン・ナノワイヤ創製法の開発に世界で初めて成功した。あらかじめ金属ニッケ

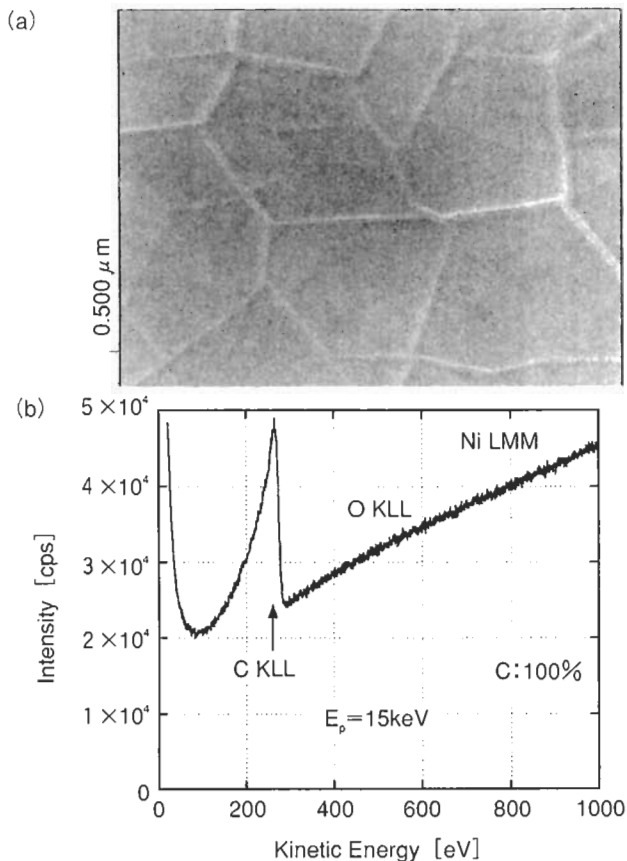


Fig 2 グラファイト基底面とナノワイヤの2次電子像 (a、境界部がナノワイヤ)、およびナノワイヤ直上でのオーグメントル (b)

がグラファイト表面の核成長サイト（ステップ、欠陥など）において異常成長を起こし、筒状のグラフェンシートが形成され、これが1次元的に成長するものと考えられる。

SAM解析によれば、基板のニッケル原子は表面には現れておらず、ニッケルはナノワイヤ成長で触媒として働いていないことが判明した。大気さらした後もナノワイヤとグラファイト表面に酸素はほとんど観測されなかった。これはナノワイヤが化学的に安定であり、耐酸化性があることを示している。一方、走査トンネル分光（STS）解析により、ナノワイヤは十分な電気伝導性があることを見いだした。

炭素原子を固溶させた多結晶ニッケル表面においても、同様のカーボン・ナノワイヤが観測された。STM計測から、数μm長のナノワイヤのバンドル（束状）構造が成長していることが判明した（Fig 3）。多結晶においてもナノワイヤが容易に成長することから、様々な実用材料への応用が期待できるという。

ナノワイヤの成長はマクロな表面形状には依存せず、表面からはがれた場合でも、真空中での熱処理を

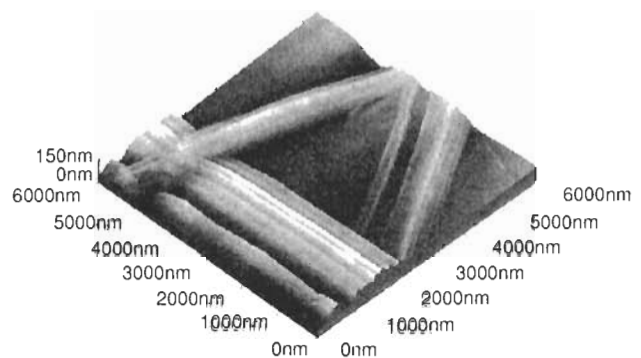


Fig 3 グラファイトテラスとカーボン・ナノワイヤのSTM像

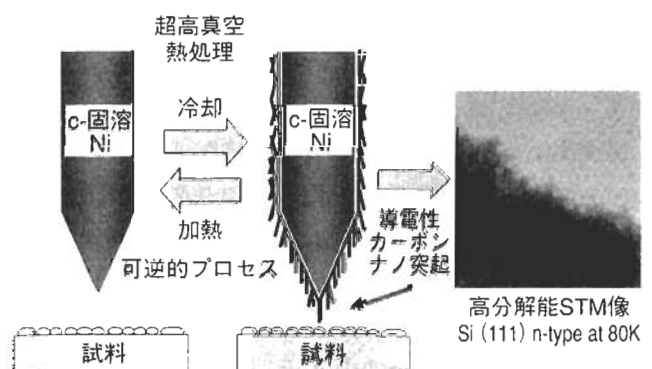


Fig 4 再生可能なSTM探針。炭素を固溶させた多結晶ニッケルワイヤ製のSTM探針に超高温真空熱処理を施すと、カーボンナノ突起を表面に析出・成長させることができる。ナノ突起STM探針には耐酸化性・電気伝導性があり、はがれても再生可能

施すことにより、何度でも炭素を再析出・成長する自己再生機能がある。下地から植物のモヤシ（Bean Sprout）のように発芽成長することから、カーボン・ナノスプラウト（Carbon Nano-Sprout）とも呼ばれている。

このような自己再生機能をもつナノワイヤをSTM探針にすれば、何度でも繰り返し使えるという利点がある（Fig 4）。先端部に多数のナノワイヤを表面析出成長させたナノ突起探針により、高度な原子分解能イメージングができることを実証した。

カーボン・ナノチューブに代表されるカーボン・ナノワイヤに関しては多くの合成方法が開発されてきており、アーク蒸発法、レーザー蒸発法、化学蒸着法（CVD）の3つが主要な手法である。これらはすべて外部炭素源から炭素原子もしくは炭素原子を含む分子を基板に供給して成長させるが、複雑な表面形状を有する材料を均一に被覆しにくく、また一度はがれると修復は容易ではない。

バルク内部に炭素を固溶させた金属の場合、固溶炭

素が表面へ析出する現象を応用して表面に炭素被膜を形成することが可能。代表的なニッケルの場合、炭素の固溶濃度が大きい（最大2.7at.%）および安定な炭化物を形成しないという特徴がある。