

# 高配向カーボンナノチューブ膜の変形挙動に及ぼすチューブ長さの影響

## 概要

Mooreの法則に従うCPUの高集積化に伴い発熱密度が急激に増加している。現在の放熱材料では今後の発熱密度に対応できないが、高配向カーボンナノチューブ（CNT）膜は優れた低接触熱抵抗材料として期待される。CNTを放熱材料として用いる場合は、接触時のCNTの変形挙動やCNT長さの変形挙動の違いは明らかにしなければならない。そこで、高配向CNT膜と平凸レンズを接触させ、広視野レーザー顕微鏡を用いて接触面観察を行った。各CNT長において、レーザー光の反射による2光束干渉光の強度と接触面圧との関係を説明した。接触面の状態を分析することによって、CNTの長さを変化させたときの変形挙動の違いを明らかにした。

## 1. 導入

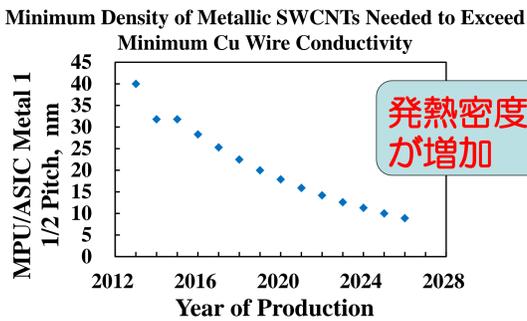
### CPUの課題

#### Mooreの法則

1チップ当たりの素子数（トランジスタ数）は1.5年から2年ごとに2倍になる

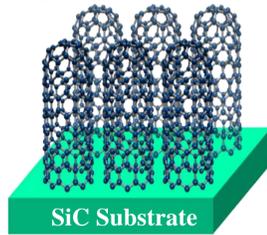
#### More than Moore, beyond CMOS

トランジスタ数に限らず、その他の機能を盛り込み、デバイスを多様化する



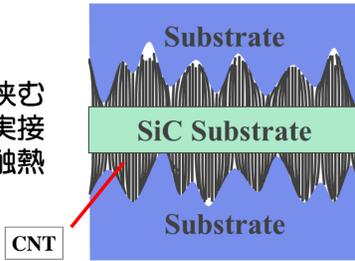
### 高配向CNT膜について

SiC基板上に高密度にCNTが垂直配向している。優れた熱伝導率を有する。

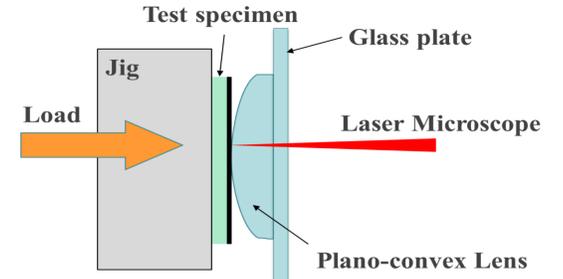


### 低接触熱抵抗材料への応用

固体接触面に挟むことで高い真実接触率、低い接触熱抵抗を実現。



## 2. 実験

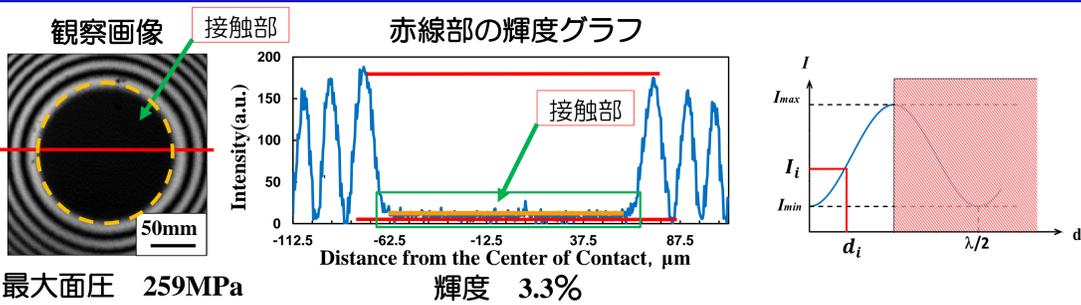


高配向CNT膜に任意の荷重を加えて平凸レンズと点接触させ、広視野レーザー顕微鏡を用いて接触面の干渉縞画像を取得する。

### 試験片概要

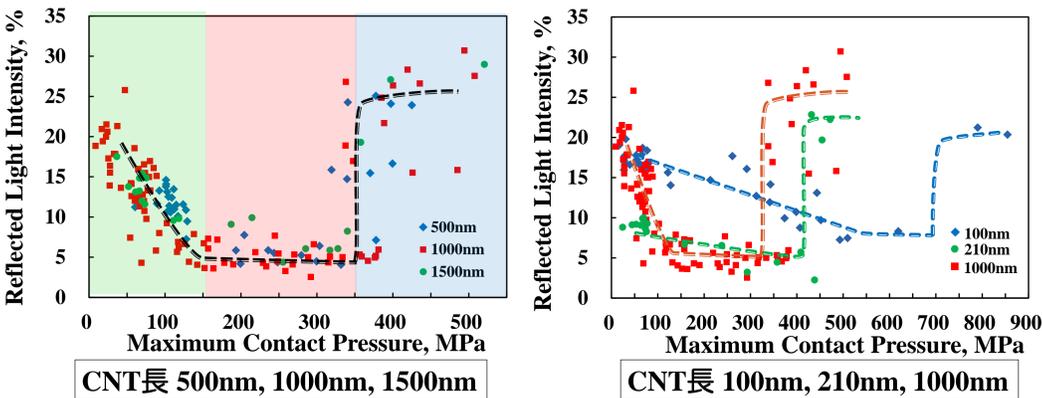
表面粗さ, nm	CNT長, nm				
	100	210	500	1000	1500
$R_a$	1.0	2.3	10.0	10.9	10.1
$R_z$	15.8	35.1	97.6	102.1	95.3

## 3. 実験結果



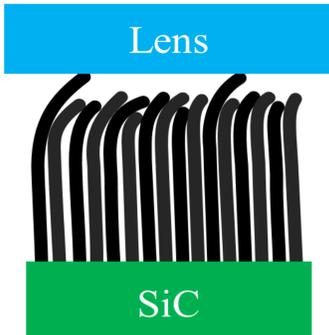
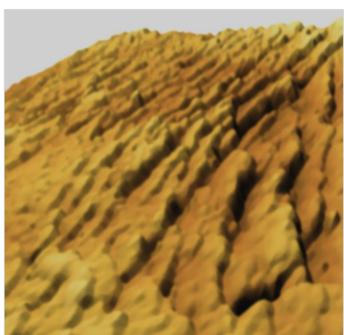
最大面圧 259MPa

輝度 3.3%



接触部の平均輝度と最大面圧との関係を表す。面圧の変化に伴い輝度も変化することがわかる。CNT長500nm~1500nmにおいては、ほぼ同様の傾向が見られたが、CNT長が短い100nmと210nmの場合は異なる傾向となった。また、輝度が上がった理由はCNTが座屈変形を起こしていたことによると考えている。

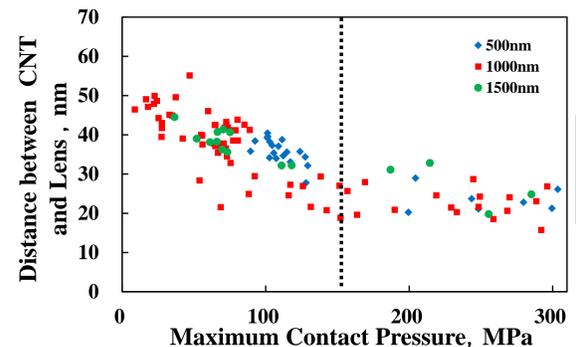
### AFM3次元画像



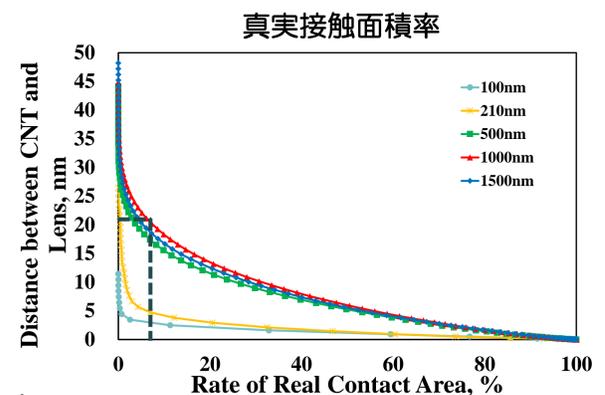
AFM画像から座屈変形が階段状に起こっていることがわかる。このことから、最も凸なCNTが周りのCNTを巻き込んで座屈していると考えられる。

### 各CNT長の透過率

CNT長, nm	100	210	500	1000	1500
透過率, %	51	16	0.051	0.18	0.37



接触部の平均輝度を面間距離に換算し、最大面圧との関係を表す。約150MPaまで面間距離が約20nm縮まっている。約150MPa~350MPaの面圧領域で真実接触面積が大きくなる。



### まとめ

- 面間距離が最も短い時の真実接触面積率はCNT長500nm~1500nmにおいて約5~8%であった。
- この真実接触面積率を得るためにはCNTに与える面圧が非常に高くなるため、どのように面圧を与えればよいか考えていく必要がある。