

ナノメートル計測学 システム創成学科BISコース

2005年4月11日
東京大学工学系研究科精密機械工学専攻
高増潔
<http://www.nano.pe.u-tokyo.ac.jp/>

ナノメートル計測学

- 講義内容
 - ナノテクノロジー入門
 - ナノメートル計測用測定機の概略, Nano-Step
 - X線干渉, 球の体積, 水の密度
 - トレーサビリティ, ヨウ素安定化レーザー, レーザ測長機
 - 精密機構の設計, 運動学的な拘束
 - 測定ループ, 補正方法
 - 弾性ヒンジ, 平行バネ
 - カップリング, ガイド工
 - SPM (AFM, STMなど)
 - 最新のナノメートル計測
 - 材料, Nano-CMM, パラレルCMM

2005/4/11
ナノメートル計測工学2005年
2

参考書, 成績

- 参考書
 - From Instrumentation to Nanotechnology, J.Gardner, H. Hingle, G&B science publishers
 - Foundations of Ultraprecision Mechanisum Design, S. Smith, D. Chetwynd, G & B science publishers
 - 超精密システムの設計技術, 日本機械学会, コロナ社
 - 精密測定器の機構設計, 味岡成康, 開発社
 - 超精密工作機械の設計, 江田弘, 工業調査会
 - Handbook of Surface and Nanometrology, D. Whitehouse, IOP
- 成績
 - 出席および出席代わりのレポートまたは簡単なテスト(講義時間内)
 - レポート

2005/4/11
ナノメートル計測工学2005年
3

ナノテクノロジー

Fig. 1.1 The development of achievable accuracy

1974: 谷口紀男(東京理科大学)

2005/4/11
ナノメートル計測工学2005年
4

ナノテクノロジーの定義

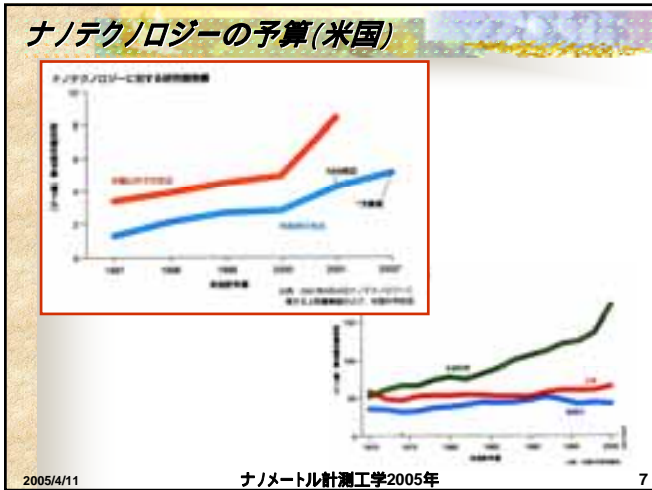
- 1.1 INTRODUCTION
 - Nanotechnology started as a name in 1974. It was introduced by Taniguchi to describe manufacture to finishes and tolerances in the nanometre region. He extrapolated the specifications from existing and past machine tools, such as lathes and grinders, to a new generation of machine tools. He concluded quite correctly that in the late 80's and 90's accuracies of between 0.1 μm and 1 nm would be needed to cater for industries' needs. This has turned out to be true, see Figure 1.1.
 - It soon emerged that the only way to achieve such results was to incorporate very sophisticated instrumentation and metrology into the design.
 - machine tool: 工作機械 sophisticate: 洗練された
 - lathe: 旋盤 instrumentation: 計測
 - grinder: 研削盤 metrology: 計測技術(度量衡)
 - cater: 満たす meteorological: 気象の
 - meteoritics: 隕石学

2005/4/11
ナノメートル計測工学2005年
5

生体におけるナノメートル

- 手
- 白血球
- DNA

2005/4/11
ナノメートル計測工学2005年
6



各国のナノテクノロジー

主要各国のナノテクノロジー

国名	内容・取り組み
日本	<ul style="list-style-type: none"> 2000年9-12月、科学技術振興機構(産学官連携)によるナノテクノロジーの推進 10-12月ナノテクノロジーに関する研究費の増額 2001年3月、総合科学技術推進計画(第4次)の策定 2001年10月、科学技術振興機構(産学官連携)によるナノテクノロジーの推進 2002年10月、科学技術振興機構(産学官連携)によるナノテクノロジーの推進
韓国	<ul style="list-style-type: none"> 2000年10月、科学技術振興機構(産学官連携)によるナノテクノロジーの推進 2001年10月、科学技術振興機構(産学官連携)によるナノテクノロジーの推進 2002年10月、科学技術振興機構(産学官連携)によるナノテクノロジーの推進
ドイツ	<ul style="list-style-type: none"> 2000年、科学技術振興機構(産学官連携)によるナノテクノロジーの推進 2001年10月、科学技術振興機構(産学官連携)によるナノテクノロジーの推進 2002年10月、科学技術振興機構(産学官連携)によるナノテクノロジーの推進
フランス	<ul style="list-style-type: none"> 1999年、科学技術振興機構(産学官連携)によるナノテクノロジーの推進 2000年、科学技術振興機構(産学官連携)によるナノテクノロジーの推進 2001年10月、科学技術振興機構(産学官連携)によるナノテクノロジーの推進 2002年10月、科学技術振興機構(産学官連携)によるナノテクノロジーの推進

2005/4/11 ナノメートル計測工学2005年 8

Nanotechnology Instruments

1.3 NANOTECHNOLOGY INSTRUMENTS

- Instrumentation has been developed to explore and measure surface properties down at the atomic level. In engineering terms they have usually been involved with looking at surface topography and boundaries of one sort or another. This requirement goes far beyond the original concept of the dimensional tolerance performance of a machine tool or the attainable surface texture on a component.
- topography: 形状
- tolerance: 公差
- machine tool: 工作機械
- attainable: 到達できる

2005/4/11 ナノメートル計測工学2005年 9

ナノメートル測定機の対象(1)

1.3.1 Specific Application Areas Include:

- Semiconductor and other electric surface properties in respect of charge injection and charge store;
- Surface reagents and catalysts in respect of chemical reactions and processes;
- Surfaces of biological molecules in both liquids and membranes and their changes in real times.
- Surfaces of magnetic heads, compact discs etc., for storage capacity;

- semiconductor: 半導体 property: 特性
- in respect of: ~に関して charge injection: 充電
- reagent: 試薬 catalyst: 触媒
- biological: 生物学の membrane: 膜

2005/4/11 ナノメートル計測工学2005年 10

ナノメートル測定機の対象(2)

- Coatings and surfaces of tools for wear properties;
- Surfaces effects produced by non-conventional mechanisms;
- Damage monitoring of pure and hybrid materials on the atomic scale;
- Tribological investigation including bearings, adhesion adsorption etc.

- coating: コーティング wear: 摩耗
- non-conventional: 特殊な(一般的でない)
- tribology: トライボロジー(表面に関する学問)
- adhesion: 接着, 粘着
- adsorption: 吸着

2005/4/11 ナノメートル計測工学2005年 11

Specific Measurement Requirements

1.3.2 Specific Measurement Requirements:

- Flaw or defect detection;
- Structural characterization – lattice parameters;
- Position and relative position of features;
- Height or topographic features;
- Shapes and edge sharpness;
- Volumetric analysis;
- Movement of atoms;
- Time changes of atomic or molecular structures.

- flaw: 欠陥
- defect: 欠陥
- lattice parameter: 格子定数
- molecular: 分子

2005/4/11 ナノメートル計測工学2005年 12

Instrument Development

- Instrument Development
 - Field ion microscope – Muller (1956) – measures field emission.
 - Scanning electron microscope – Thornton (1968) – measures secondary electrons.
 - Scanning tunneling microscope – Binnig et al. (1982) – measures charge density.
 - Atomic force microscope – Binnig et al. (1986) – measures atomic and ionic forces.
 - Scanning capacitance microscope – Bugg, King (1988) – surface capacitance.
 - Differential interference microscope – Shonenberger, Alvarado (1989) – optical reflectance.
 - Nano stylus instruments – Garratt, Bottomley (1990) – topography.

2005/4/11 ナノメートル計測工学2005年 13

ナノメートル測定機の例

ナノステップ X線干渉技術

2005/4/11 ナノメートル計測工学2005年 14

Nanostep

2005/4/11 ナノメートル計測工学2005年 15

Nanostepの構造

図 3.3 圧電式駆動トランス式変換器の断面構造

2005/4/11 ナノメートル計測工学2005年 16

Nanostep測定結果

項目	圧電式駆動トランス
測定長さ	50 mm
測定精度	100 nm/50 mm
測定範囲	20.3 μm
垂直分解能	31 nm
水平分解能	50 nm
触針圧力	1~70 mN

図 3.5 触針の取付け構造

2005/4/11 ナノメートル計測工学2005年 17

Zerodure (1)

2005/4/11 ナノメートル計測工学2005年 18

Zerodure (2)

- Expansion Class 0 $0 \pm 0.02 \cdot 10^{-6}/K$
- Expansion Class 1 $0 \pm 0.05 \cdot 10^{-6}/K$
- Expansion Class 2 $0 \pm 0.10 \cdot 10^{-6}/K$

2005/4/11 ナノメートル計測工学2005年 19

X線干渉技術

- X線干渉による格子定数の決定
 - アボガドロ定数
 - シリコン単結晶の密度
 - 単位格子の体積
 - モル質量
 - ナノメートル校正
 - シリコン平行ばね

2005/4/11 ナノメートル計測工学2005年 20

結晶構造

図 10-3 シリコンの結晶構造

1. 単純立方格子 2. 体心立方格子 3. 面心立方格子
4. 単純立方格子 5. 体心立方格子
6. 単純立方格子 7. 体心立方格子 8. 面心立方格子 9. 面心立方格子
10. 単純立方格子 11. 面心立方格子 12. 面心立方格子
13. 立方格子 14. 立方格子

図 10-1 14の格子構造

2005/4/11 ナノメートル計測工学2005年 21

X線干渉計

図 10-4 X線干渉計。プリズム状の水晶板を2枚用いて光を2つに分岐する。1枚は固定し、もう1枚は微小な変位で動かす。2枚の光を再び重ね合わせる。D.M. Stone (Proc. 3rd Int. Symp. A. 365, S. (1970) 2-9)

Figure 10.3 Micrological X-ray interferometer mounted.

2005/4/11 ナノメートル計測工学2005年 22

X線干渉による校正技術

Figure 16.3 A typical calibration system.

Figure 16.6 Schematic of a series capacitor calibrator.

2005/4/11 ナノメートル計測工学2005年 23

校正結果

Figure 16.4 Calibration result with a Talystep gauge.

2005/4/11 ナノメートル計測工学2005年 24