

「新探究材料」

－新材料によるブレークスルーへの挑戦－

栗野 祐二(WG13リーダー:富士通)

Outline

1. ERM章について:ゴールとスコープ
2. ○○のためのERM例
3. STRJとしての独自活動
4. まとめ

用語集

1D	One Dimensional
CMO	Complex Metal Oxide
CNT	Carbon Nanotube
ERD	Emerging Research Device
ERM	Emerging Research Material
FM	Ferro Magnetic
MEMS	Micro Electro Mechanical Systems
μ TAS	Micro Total Analysis System



ITRS 2007年版から新しい章が加われました。

INTERNATIONAL
TECHNOLOGY ROADMAP
FOR
SEMICONDUCTORS

2007 EDITION

EMERGING RESEARCH MATERIALS



新探究材料 (ERM) 章について

:新しいCross-cutting章 (ERDから独立)

◎ゴール: 特定のITWG応用のために重要な、ERMの技術的・時間的要請を明らかにする。

◎取組み: ITWGのニーズとしてのERMへの要求を並べる

- ERMの潜在的能力とITWGの現状ギャップを明らかにする
- 超えるべきDifficult Challengeを明らかにする

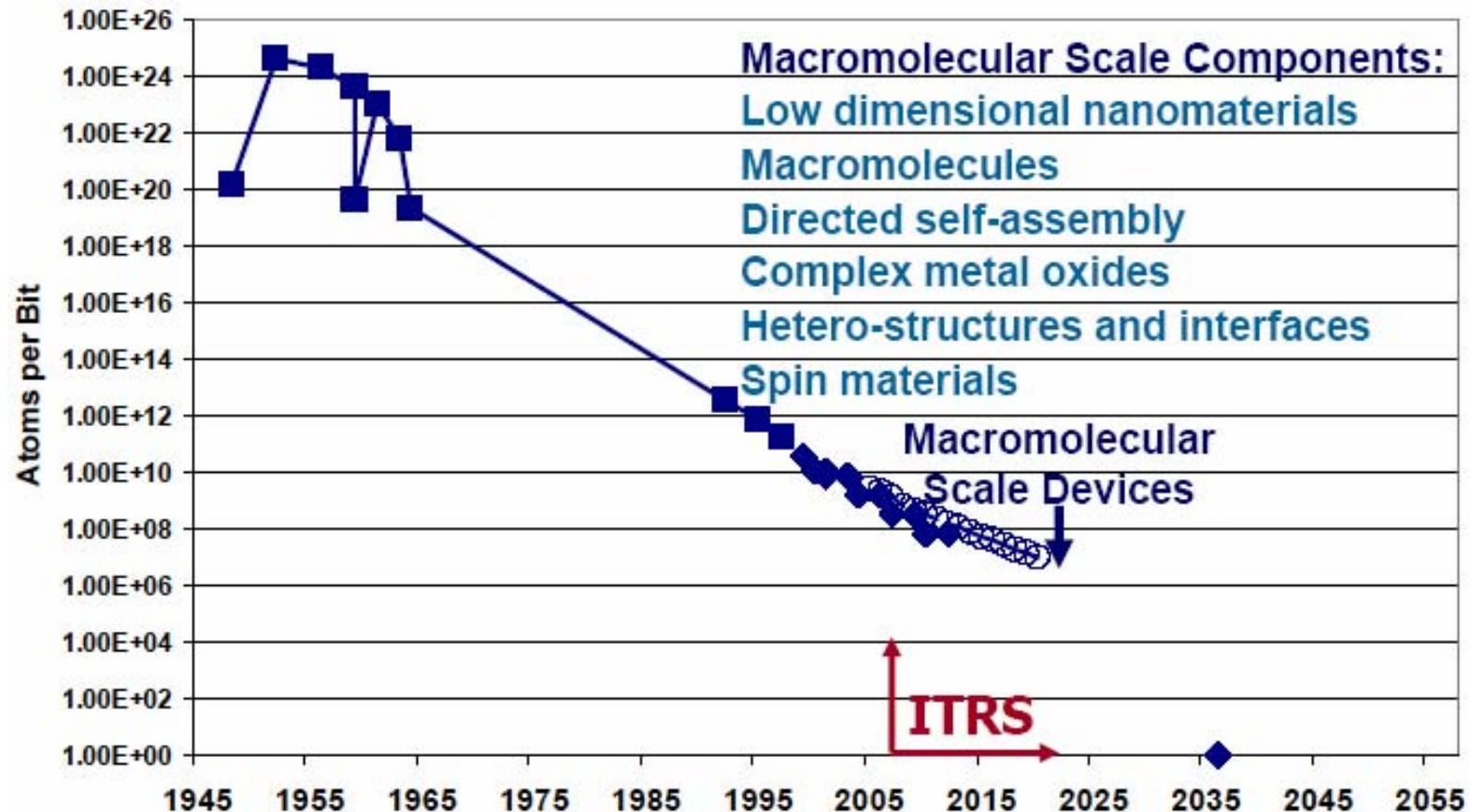
◎材料研究に対する要件 (基礎から応用まで) をまとめる

- 大学、国研(化学分野、材料科学分野、他)へ
- 産業界(半導体、化学・材料・装置サプライヤー)へ

Emerging Research Materialって？



Macromolecular Scale Devices are on the ITRS Horizon

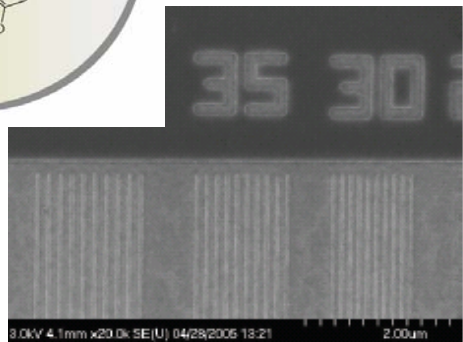
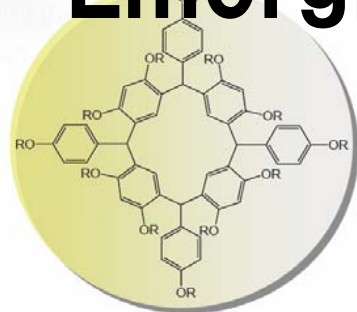


ITRS Winter Conference 2007 Makuhari-Messe Tokyo, Japan

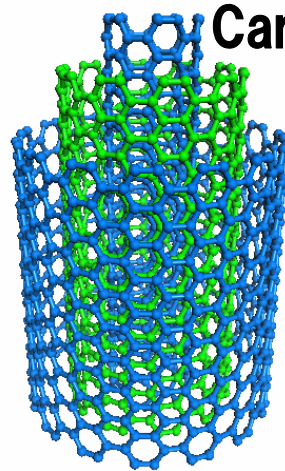
3

revised 2006 from: D. Herr and V. Zhirnov, Computer, IEEE, pp. 34-43 (2001).

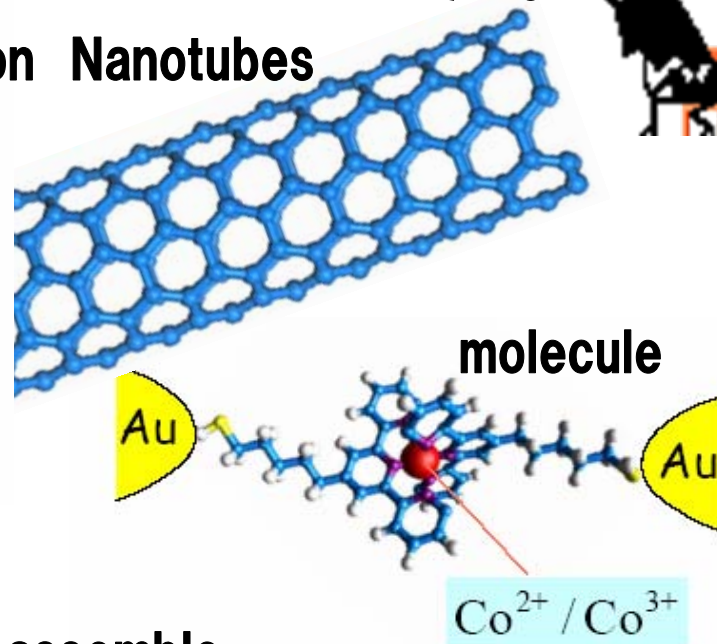
Emerging Research Materialって？



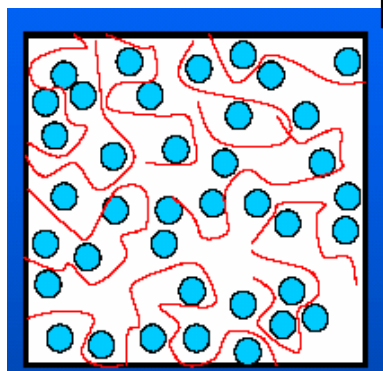
Macro-molecule



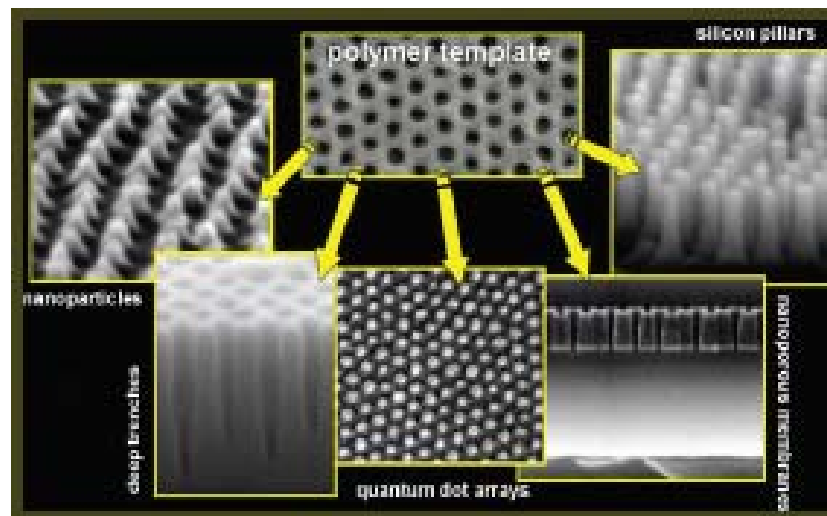
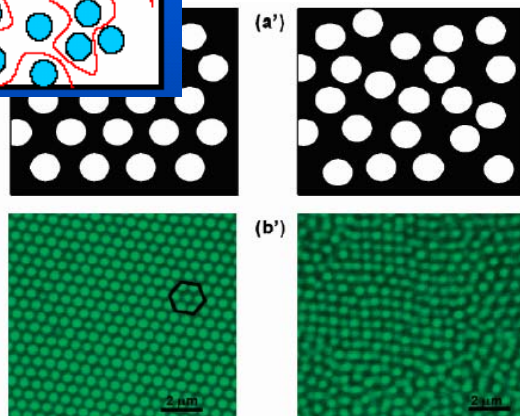
Carbon Nanotubes



Self-assemble



Nanoparticles



主なEmerging Research Materials

- 低次元ナノ材料 (カーボンナノチューブ、ナノ微粒子、他)
- 巨大分子 (Macromolecules)
- 制御した自己組織化材料 (Directed Self-assemble)
- 強相関材料 (Strongly Correlated Electron State Materials)
- スピントロニクス材料 (Spin State Material)
- その他





ERMのITWG応用可能性

Materials	ERD Memory	ERD Logic	Lithography	FEP	Interconnects	Assembly and Package
Low Dimensional Materials						
Macromolecules						
Self Assembled Materials						
Spin Materials						
Complex Metal Oxides						
Interfaces & Heterointerfaces						



Potential Applications Identified

詳細な調査マトリックス

Mat. TWG	Low Dimensional Materials	Macro- molecules	Spin Materials	Complex Metal Oxides	Hetero- structures & Interfaces	Directed Self- assembly	ESH	Metrol. & Model'g
ESH								
ERD								
FEP								
INT								
LIT								
MET								
M&S								
PIDS								
PKG								



詳細な要求がある

一般的要求がある

今のところ要求はない

ERM (2007) 作成に参加した人達



Hiro Akinaga	AIST
Bob Allen	IBM
Nobuo Aoi	Matsushita
Koyu Asai	Renesas
Yuji Awano	Fujitsu
Daniel-Camille Bensahel	STM
Chuck Black	BNL
Thomas Bjornholm	
Ageeth Bol	IBM
Bill Bottoms	Nanonexus
George Bourianoff	Intel
Alex Bratkovski	HP
Marie Burnham	Freescall
William Butler	U. of Alabama
John Carruthers	Port. State Univ.
Zhihong Chen	IBM
U-In Chung	Samsung
Rinn Cleavelin	TI
Reed Content	AMD
Hongjie Dai	Stanford Univ.
Joe DeSimone	UNC
Jean Dijon	LETI
Terry Francis	T A Francis Assoc.
Chuck Fraust	SIA
Satoshi Fujimura	TOK
Michael Garner	Intel
Avik Ghosh	
Emmanuel Giannelis	Cornell Univ.
Michael Goldstein	Intel
Joe Gordon	IBM

Jim Hannon	IBM
Craig Hawker	UCSB
Robert Helms	UTD
Rudi Hendel	AMAT
Dan Herr	SRC
Susan Holl	Spancion
Greg Higashi	Intel
Harold Hosack	SRC
Jim Hutchby	SRC
Kohei Ito	Keio Univ.
James Jewett	Intel
Antoine Kahn	Princeton Univ.
Sergie Kalinin	ORNL
Ted Kamins	HP
Masashi Kawasaki	Tohoku Univ.
Steve Knight	NIST
Gertjan Koster	Stanford Univ.
Roger Lake	U.C. Riverside
Louis Lome	IDA Cons.
Allan MacDonald	Texas A&M
Francois Martin	LETI
Fumihiro Matsukura	Tohoku U
Andrew Millis	Columbia Univ.
Bob Miller	IBM
Chris Murray	IBM
Paul Nealey	U. Wisc.
We-Xin Ni	NNDL
Fumiyuki Nihey	NEC
Dmitri Nikonov	Intel
Yoshio Nishi	Stanford
Chris Ober	Cornell Univ.
Brian Raley	Freescall
Ramamoorthy Ramesh	U.C. Berkeley
Nachiket Ravavikar	Intel
Mark Reed	Yale Univ.

Curt Richter	NIST
Dave Roberts	Air Products
Frances Ross	IBM
Tadashi Sakai	Toshiba
Lars Samuelson	Lund University
Mitusru Sato	TOK
John Henry Scott	NIST
Farhang Shadman	U Az.
Sadasivan Shankar	Intel
Atsushi Shiota	JSRMicro
Reyes Sierra	U Az.
Kaushal Singh	AMAT
Susanne Stemmer	UCSB
Naoyuki Sugiyama	Toray
Shinichi Tagaki	U of Tokyo
Koki Tamura	TOK
Yasuhide Tomioka	AIST
Evgeny Tsymbal	U. of Nebraska
Emanuel Tutuc	IBM
Ken Uchida	Toshiba
John Unguris	NIST
Bert Vermiere	Env. Metrol. Corp.
Yasuo Wada	Toyo U
Vijay Wakharkar	Intel
Kang Wang	UCLA
Rainer Waser	Aacken Univ.
Stanley Williams	HP
C.P. Wong	GA Tech. Univ.
H.S. Philip Wong	Stanford University
Walter Worth	ISEMATECH
Hiroshi Yamaguchi	NTT
Toru Yamaguchi	NTT
In Kyeong Yoo	Samsung
Victor Zhimov	SRC



STRJ-WG13 (ERM) メンバー一覧



2008年2月25日時点: 13名

2007 ITRS-ERM章担当

Introduction

Low-dimensional (CNT, Graphen)

Low-dimensional (Nanowire)

Polymer

Heterostructures and Interfaces

Macromolecules

Spintronic materials

Complex Metal Oxide

ESH

Metrology

Modeling and Simulation

全員

栗野 (富士通)、酒井 (東芝)、二瓶 (NEC)

内田 (東芝)

浅井 (ルネサステクノロジ)

} 和田 (東洋大)、秋永 (産総研)、
松倉 (東北大)、青井 (松下)

秋永 (産総研)、松倉 (東北大)

富岡 (産総研)

石津さおり (産総研) 2/20より

杉山 (東レリサーチ)

宮本 (NEC) 1/25より

ERDのためのERM例

Device State*

- ☐ 1D Charge State
- ☐ Molecular State
- ☐ Spin State
- ☐ Phase State
- ☐ Memory
 - Fuse/anti-fuse, Ferroelectric FET, etc.

Emerging Materials

- (Low Dimensional Materials)
- (Macromolecules)
- (Spin Materials and CMO**)
- (CMO** and Heterointerfaces)

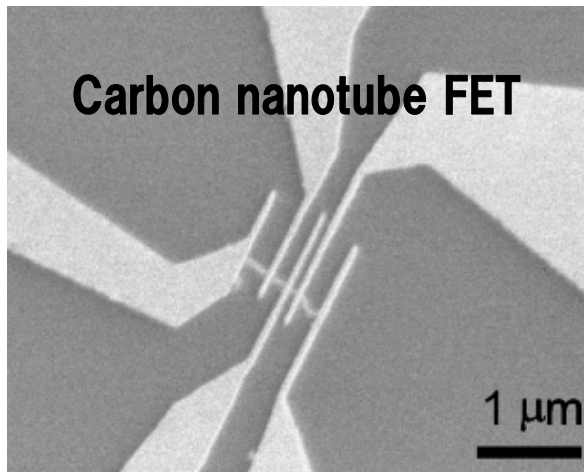
All Devices have critical interface requirements

*Representative Device Applications

**CMO = Complex Metal Oxides



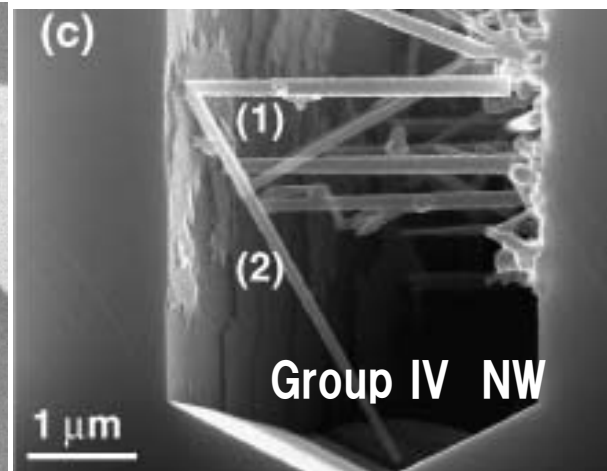
1次元電荷状態



(T. Mizutani, Nagoya Univ.)

【課題】

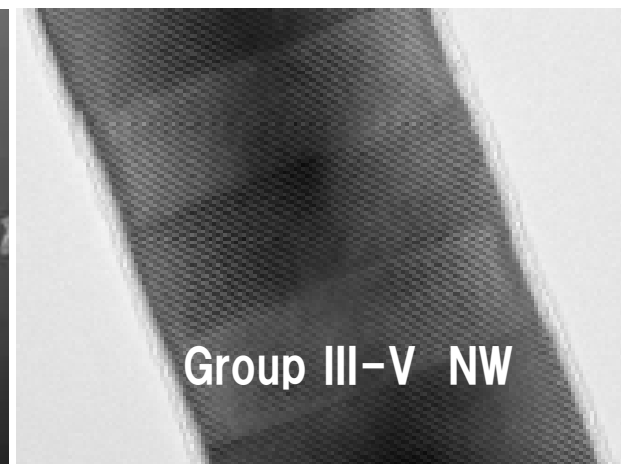
- 位置、方向制御
- バンドギャップ制御
- コンタクト抵抗
- 密度制御
- ドーピング



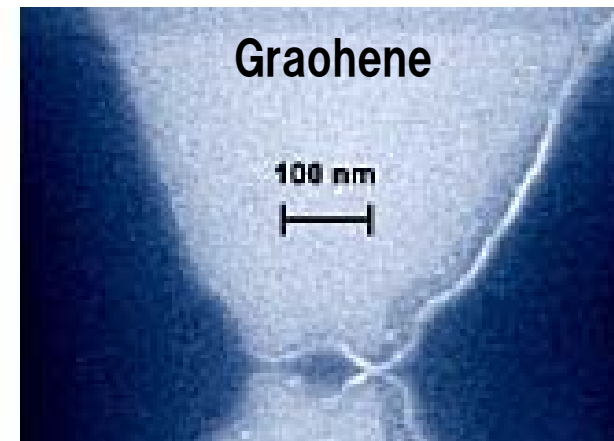
(T. Kamins, HP)

【課題】

- 結晶成長位置
- 方向制御
- ドーピング



(L. Samuelson, Lund Univ.)

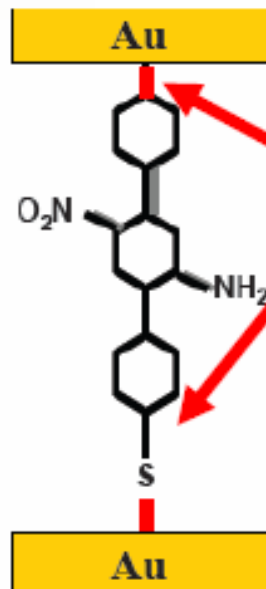


A. Gai, Manchester Univ.)

【課題】

- デポジション
- エッジ制御
- ドーピング

分子狀態



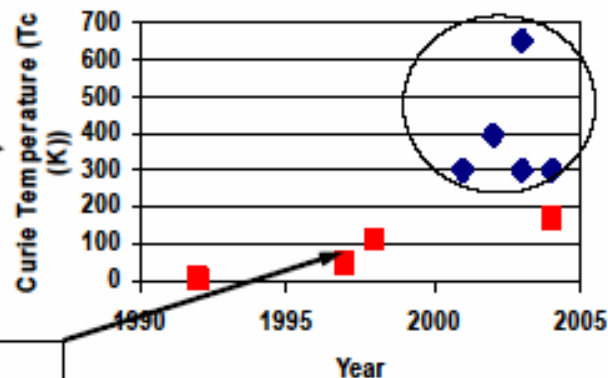
High contact energy barriers may be masking potential molecular switching

- Need more research on contact formation
- Novel lower potential barrier contacts...



スピン状態

Room temperature
ferromagnetic
semiconductors
(T_c)



◆ Doped Oxides
■ (III,Mn)V

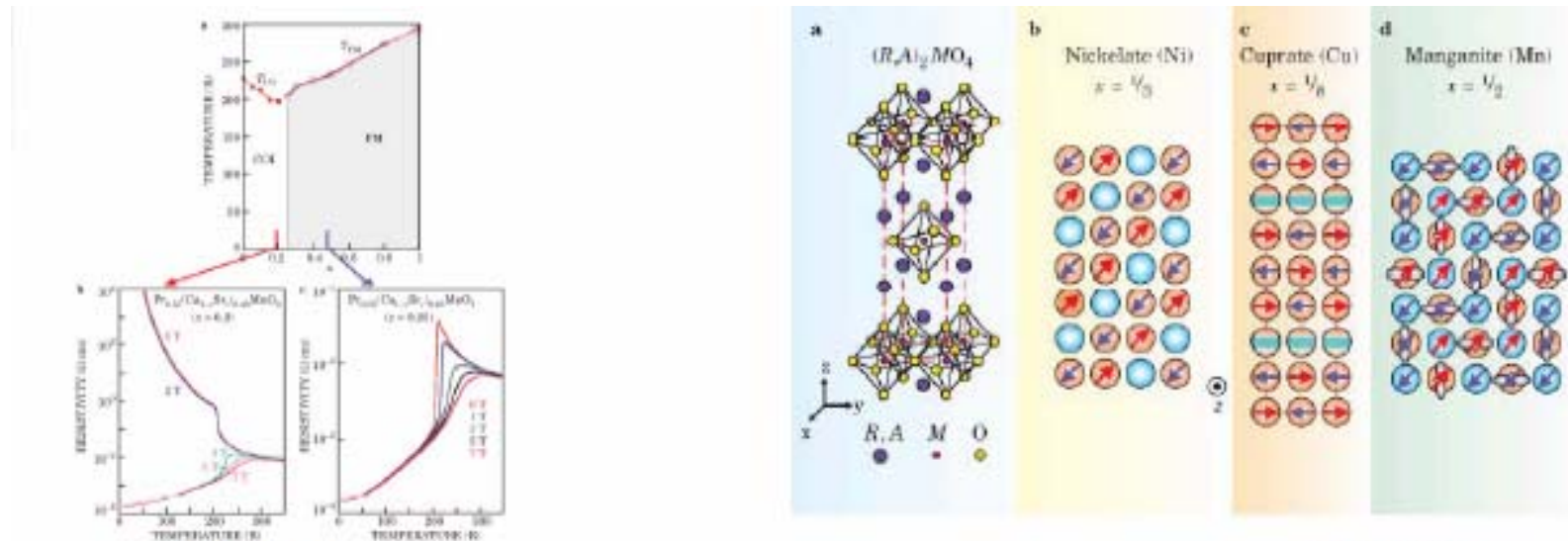
Carrier
mediated
exchange

- Reports of high Curie temperature FM semiconductors
 - GeMn Nanocolumns >400K
 - SiMn >400K
 - (InMn)P ~300K
 - Need verification & more study



Need Room Temp FM Semiconductor

強相関電子状態



Tokura

Tokura

- Materials exhibit complex phase relationships
 - Structure, Strain, Spin, Charge, Orbital Ordering
- Goal: Determine whether complex phases and coupled dynamic and static properties have any potential to enable alternate state logic devices
 - Example: Mott transition or other coupled states

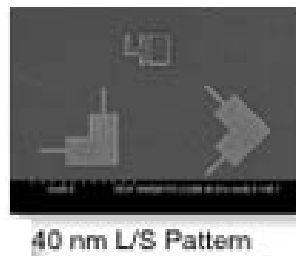


Can these materials enable new device functions?

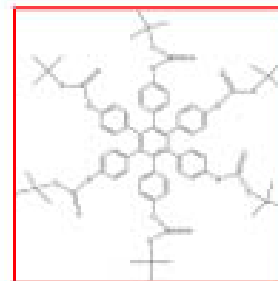
リソのためのERM例

レジスト材料

- ・液浸用、EUV用、解像、
表面エネルギー
(Macromolecule)

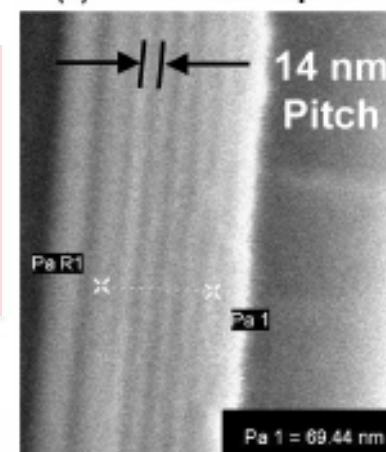


C. Ober, Cornell Univ.



EUV Resist

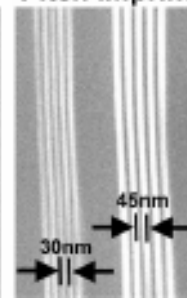
(a) 14 nm Pitch Imprint



(b) 30/45 nm
Pitch Mold



(c) 30/45 nm
Pitch Imprint



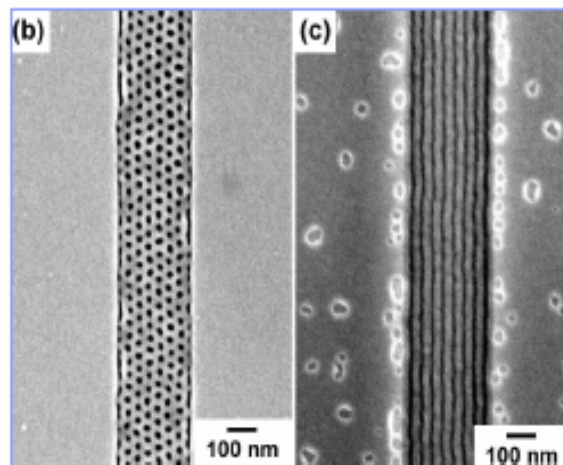
S. Y. Cho, Princeton Univ.

インプリント材料

- ・低粘度、剥がれ易さ
(Macromolecule)

ブロック共重合体

- ・密度、サイズ、欠陥、他
(Directed self-assemble)

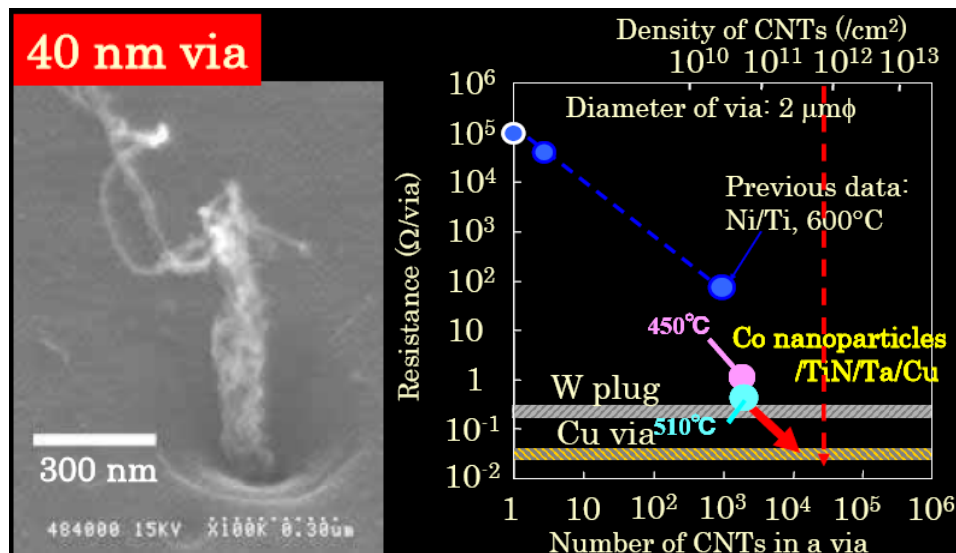


C. Black, IBM

配線のためのERM例

配線ビア

- 多層 & 単層CNT
- 金属ナノワイヤー
- 【課題】
- 高密度化
- コンタクト抵抗
- 機械的強度

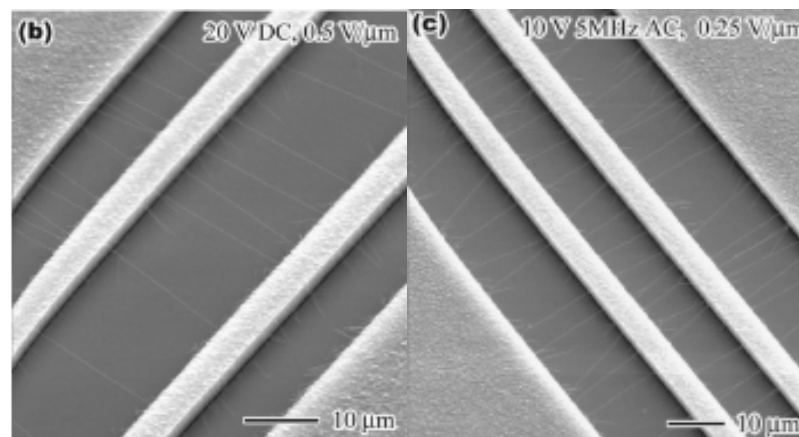


Y. Awano, Fujitsu

横配線

- 金属的CNT
- 金属的ナノワイヤー
- 【課題】
- 方向制御
- コンタクト抵抗
- 高密度化

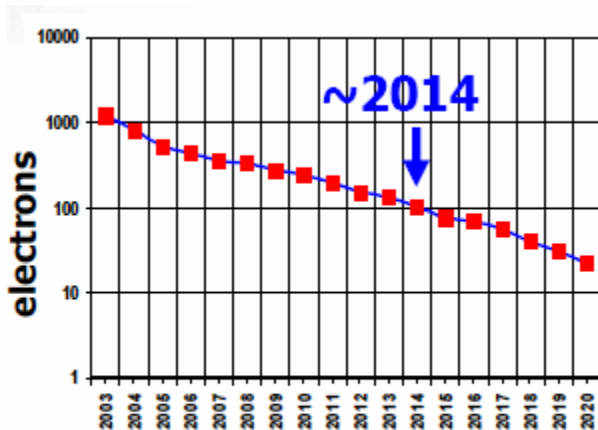
H. Dai,
Stanford Univ.



フロントエンドプロセスのためのERM例

For Extreme CMOS

- Directed Self Assembly for Deterministic Dopant Placement (決定論的ドーピング技術)

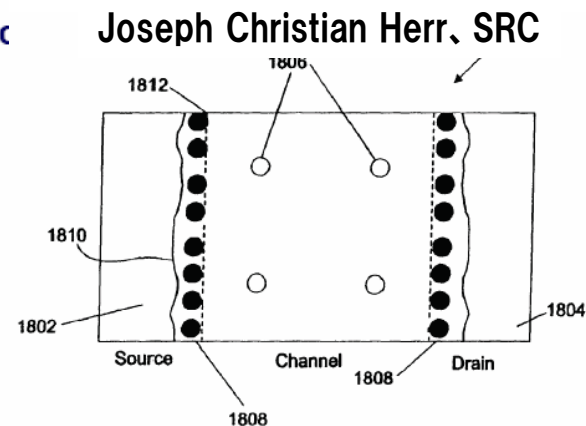


D. Herr, with data from the 2005 ITRS

■ Conductance variability reduced from 63% to 13% by controlling dopant numbers and roughly ordered arrays;
■ Conductance due to implant positional variability within circular implant regions of the ordered array ~13%.

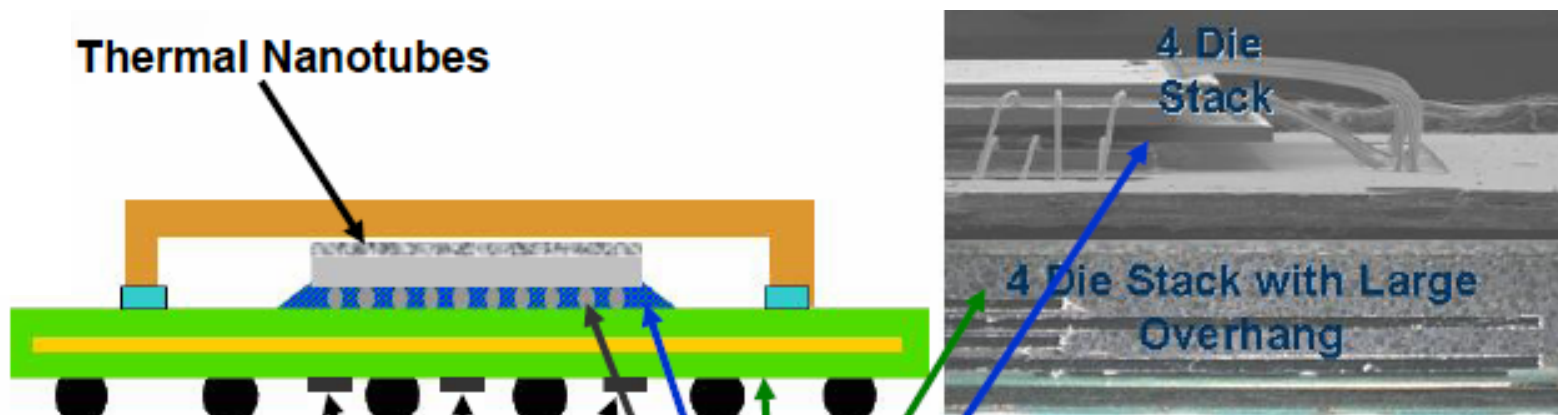


From Shinada et. Al., "Enhancing Semiconductor Device Performance Using Ordered Dopant Arrays", Nature, 437 (20) 1128-1131 (2005) [Waseda University]



- Self Assembly for Selective Etching (自己組織的選択エッチング)
- Macromolecules for Selective Etching & Cleaning (選択エッチング、クリーニングのための巨大分子)

実装のためのERM例



High Density Power Delivery Capacitors

- ☐ Dielectrics: High K
- ☐ Self Assembly
- ☐ Interconnects: Nanotubes or Nanowires

Package Thermo-Mechanical

- ☐ Substrate: Nanoparticles, Macromolecules
- ☐ Adhesives: Macromolecules, Nanoparticles
- ☐ Chip Interconnect: Nanoparticles



機械強度、密着性、耐湿性、信頼性、電気的特性、バイオシステムとのインターフェースほか

ITRS Winter Conference 2007 Makuhari-Messe Tokyo, Japan

23

ERMのDifficult Challenges

- **ナノ構造と特性の相関に関する評価**
Characterization of the nanostructure to property correlation
- **ナノ構造と特性の制御**
Control of Nanostructure & Properties
- **ナノ構造、欠陥、位置合わせのための制御された自己組織化技術**
Self Assembly control of structure, defect, registration
- **ERD用材料特性の批判的な識別**
Identifying critical properties for alternate state devices & their interfaces
- **埋め込まれた界面やマトリクスの電気的およびスピン特性の評価**
Characterizing electronic & spin properties of embedded interfaces/matrixes
- **ERMのESHとしての影響力調査**
Assessment of potential ESH hazards and risk of ERM

「ナノバイオ技術調査」

1. 「Bio-nano研究の概要」

講師) (株)富士通研究所 ナノテクノロジー研究センター
主席研究員 藤田省三氏

2. 「 μ TASとナノバイオ技術」

講師) 名大大学院工学研究科化学・生物工学専攻
予防早期医療創成センター 渡慶次 学准教授

3. 「バイオトランジスタによる生体分子検出可能性について」

講師) NIMS生体材料センター・バイオエレクトロニクスグループ・
ディレクター, 東京大学大学院工学研究科・マテリアル
工学専攻・ 宮原 裕二 教授

4. 「ナノダイヤモンド上へのDNA固定法と一塩基多型DNA検出」

講師) 早稲田大学 川原田洋 教授

5. 「MEMSとナノバイオテクノロジー」

講師) 東京大学 生産技術研究所・マイクロメカトロニクス
国際研究センター長 藤田博之 教授