

日本の持続的成長に向けたエネルギー戦略
～創エネ、省エネ、それとも～

創エネ的視点

光子・電子を無駄なく利用する 近接場光利用技術の新展開

東京大学



大学院工学系研究科



電気系工学専攻

八井 崇（やつい たかし）





省エネにも、創エネにもまずは表面・界面
電子、光子の散乱損失低減が鍵

光子を使い尽くす加工技術

→近接場光:ドレストフォトン・フォノン

→近接場光加工

→可能となる創エネルギー電子デバイス

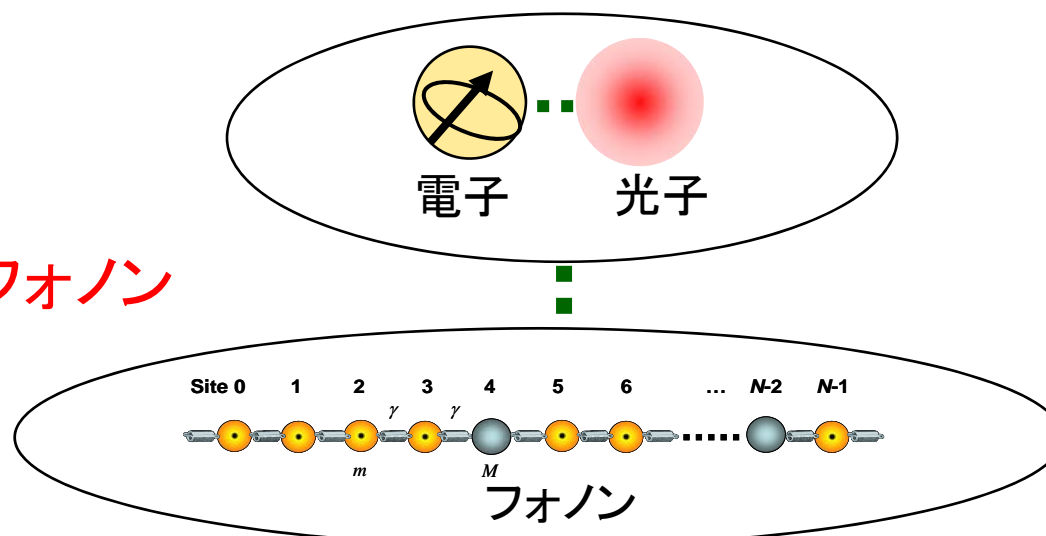
ドレストフォトン・フォノン (DPP)



近接場光＝光と物質が融合→

ドレストフォトン＝電子と強く結合し物質エネルギーの衣をまとった光子

ドレストフォトン・フォノン
DPP

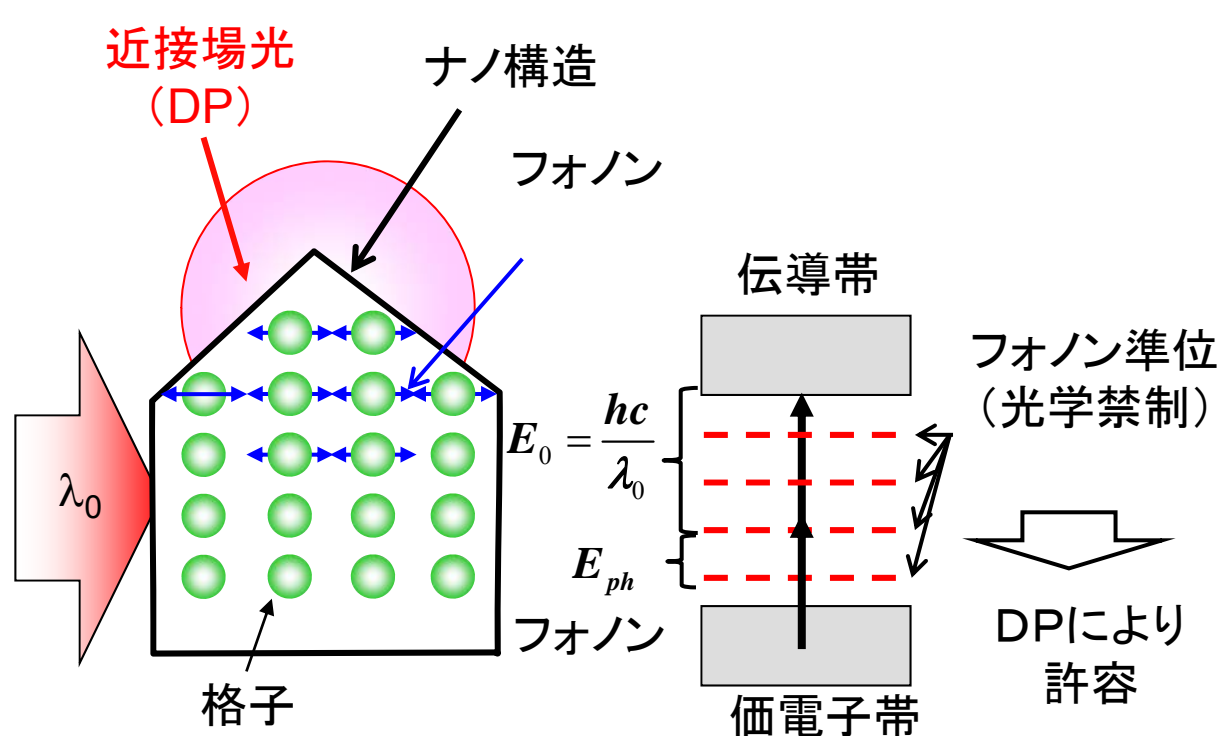


入射光エネルギー $h\nu$ << ドレストフォトン・フォノンのエネルギー E_{DPP}

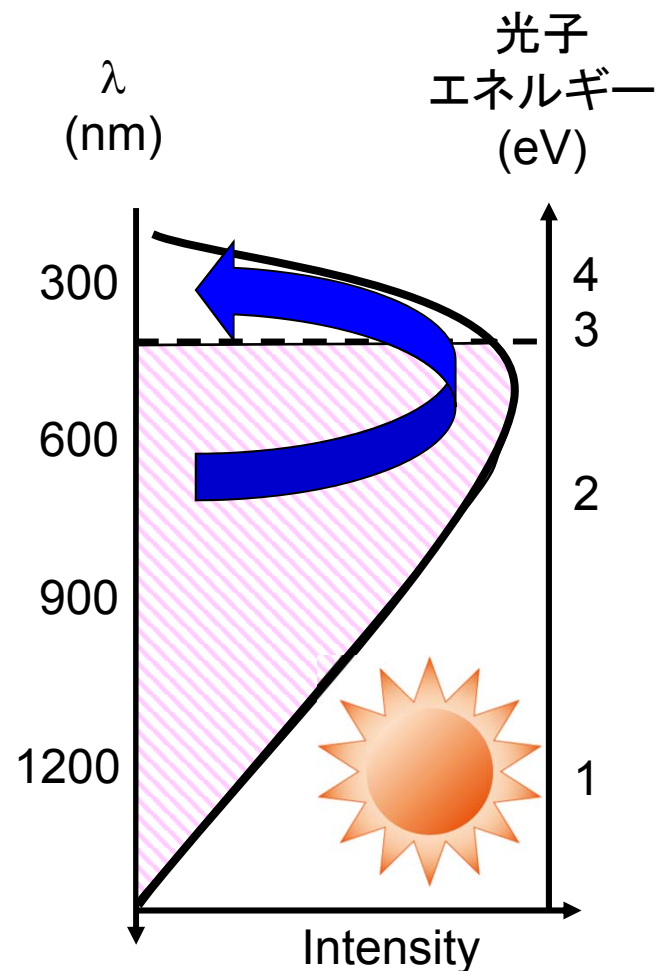
低い光子エネルギーの光（長波長の光）が入射してもナノ寸法物質近隣の物質は高いエネルギー（短波長の光に相当）を受ける。

- ・ 物質はドレストフォトン・フォノンを吸収し，反応・応答する．
- ・ 物質中の分子振動モード、フォノンモードも励起され反応・応答に関与：**フォノン援用過程**

エネルギー上方変換



S. Yukutake, T. Yatsui, et al., Appl. Phys. B **99**, 415 (2010)
T. Yatsui, et al., Appl. Phys. B **93**, 55 (2008)



可視光水分解
 CO_2 削減
太陽電池効率向上



省エネにも、創エネにもまずは表面・界面
電子、光子の散乱損失低減が鍵

光子を使い尽くす加工技術

→近接場光:ドレストフォトン・フォノン

→近接場光加工:表面平滑化

→可能となる創エネルギー電子デバイス

機械研磨：400年の伝統



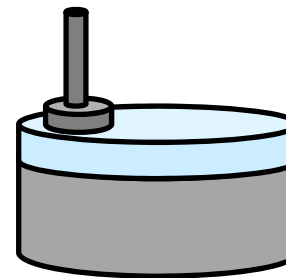
Galileo Galilei
1564- 1642



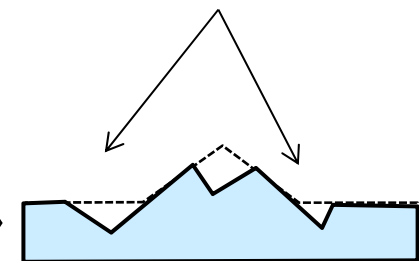
化学機械研磨 (CMP)

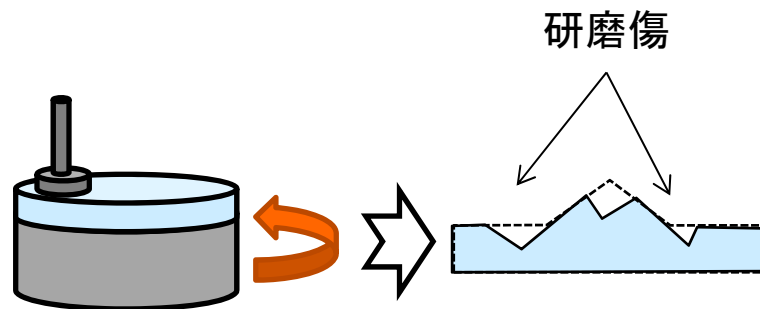
平坦化に限界

研磨パッド

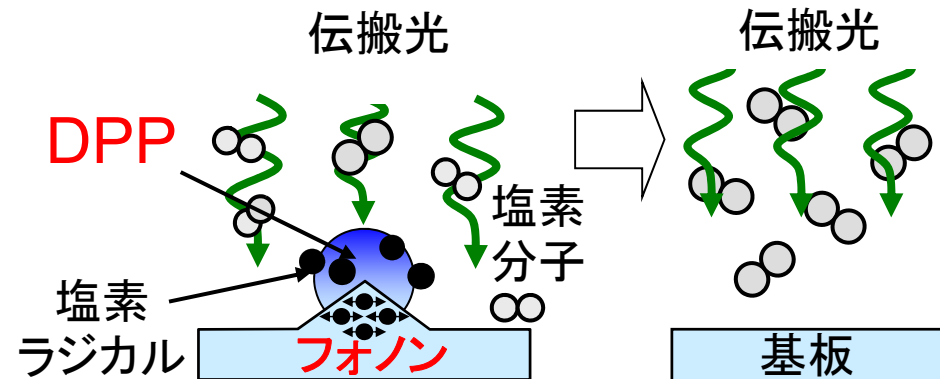
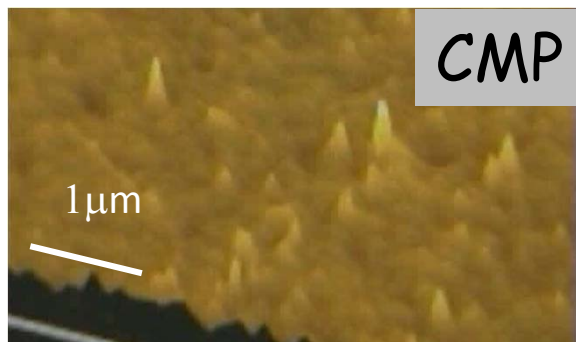


研磨傷

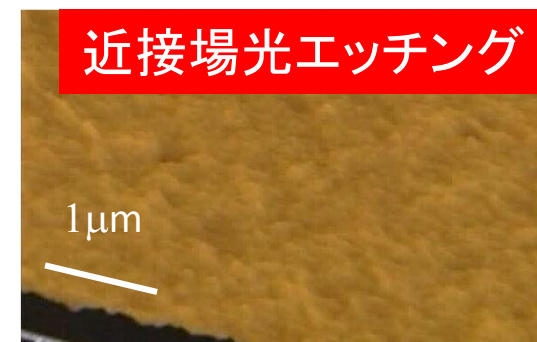




接触プロセス
最小Raの限界
レアアース問題(CeO_2 必須)
平坦化の判断困難



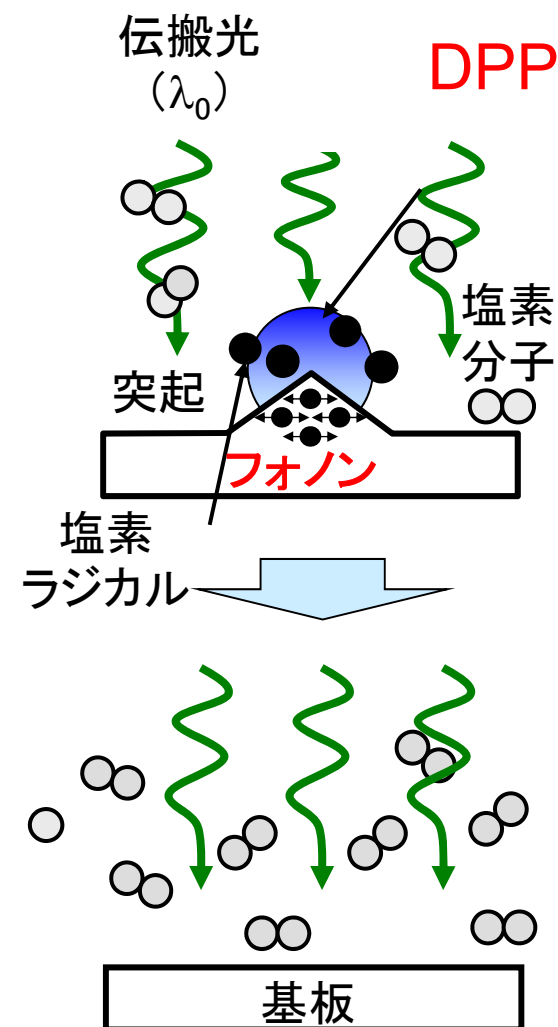
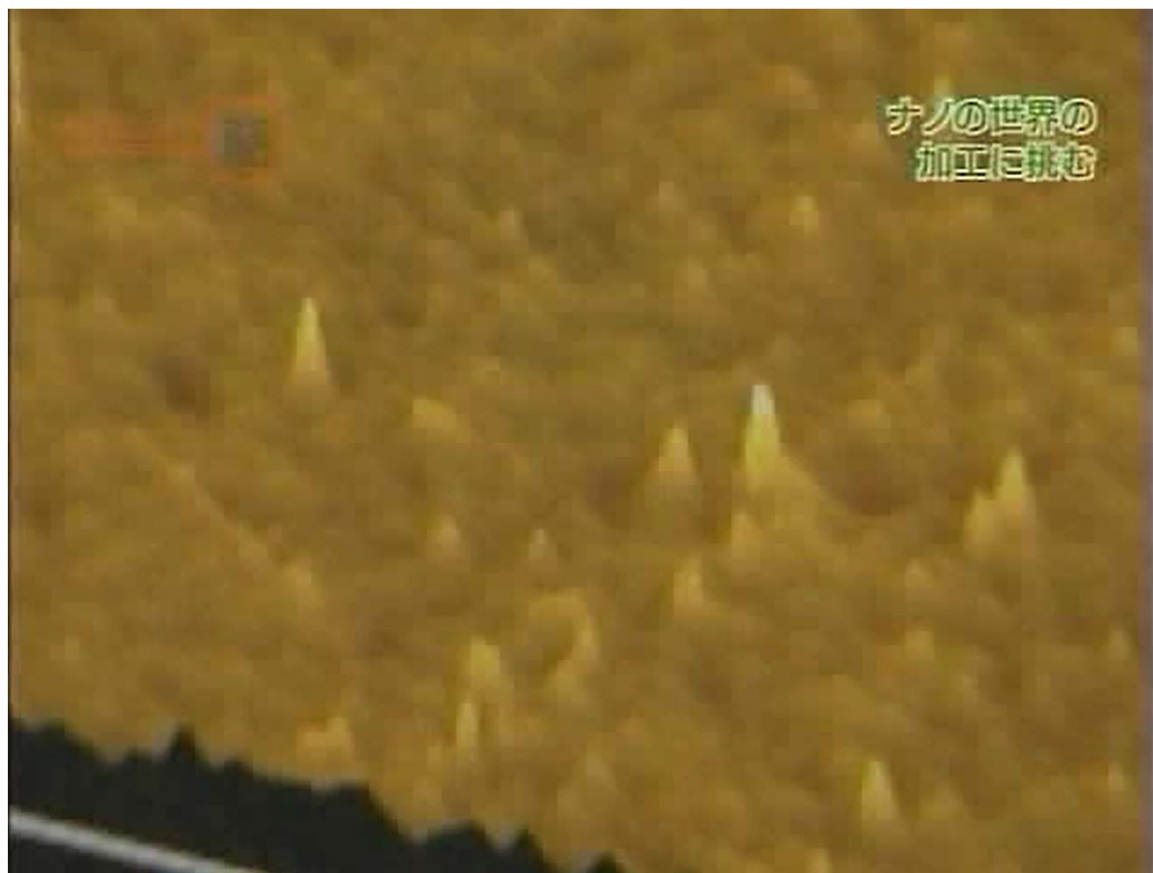
↔ 非接触
↔ 最小Ra: 原子スケール
↔ レアアース不要
↔ 自己収束プロセス



近接場光エッチングによるÅ平坦化

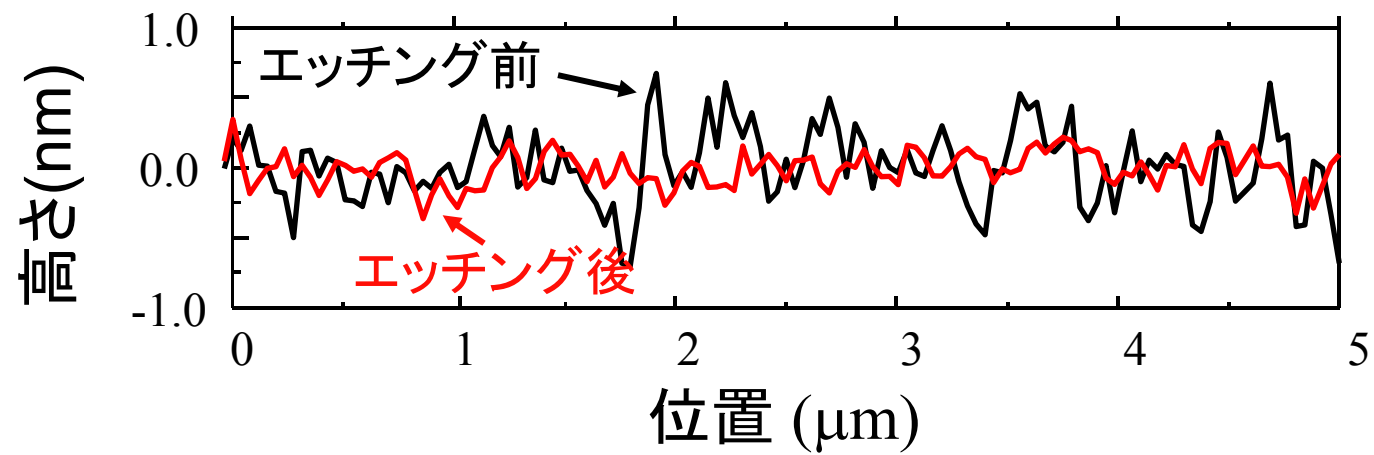
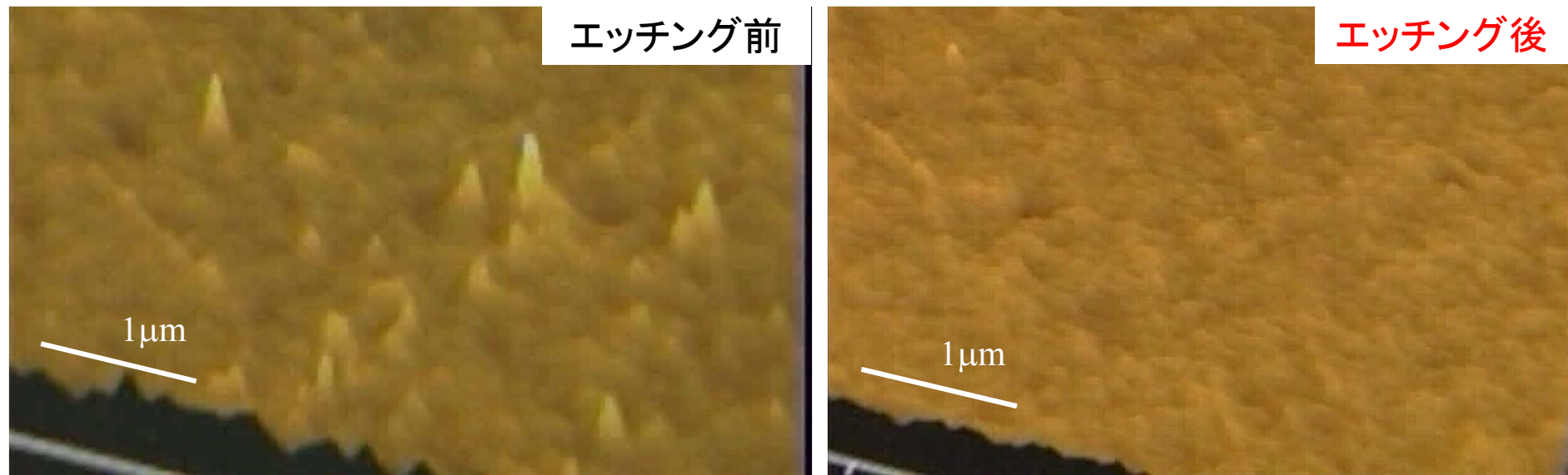


$\lambda_0=532\text{nm}$ > 塩素分子の吸収端波長 $\sim \lambda=400\text{nm}$

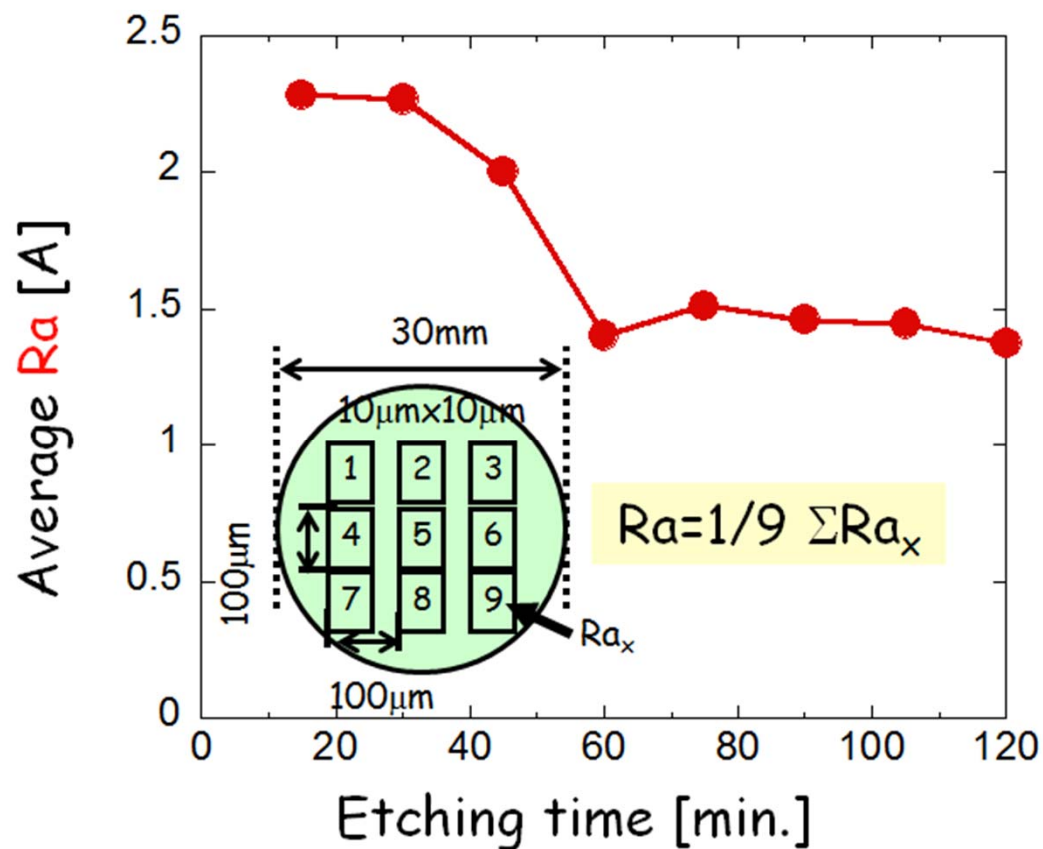


特許登録番号: 5044354、「表面平坦化方法」、東京大学、大津元一・八井 崇、2007年10月10日出願、特許登録2012年7月20日

近接場光エッチングによるÅ平坦化



表面粗さ R_a のエッチング時間依存性

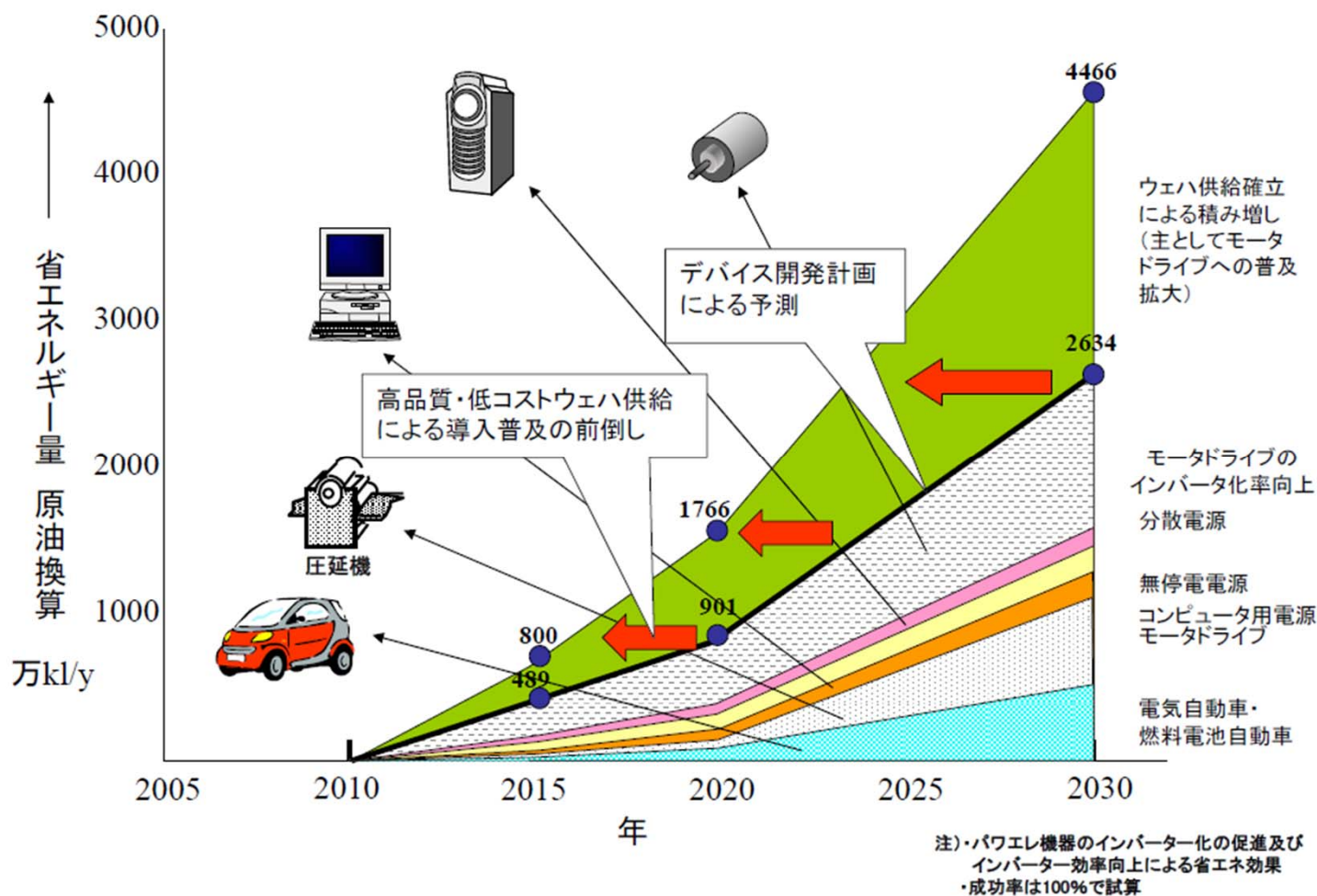


世界最高の
レーザ耐性を実現

日経産業新聞
2010年3月23日

T. Yatsui, et al., Appl. Phys. B, **93**, 55 (2008)

超平坦化基板がもたらす省エネルギー



パワーデバイス導入による我が国の省エネルギー量の見積もり
経済産業省資源エネルギー庁「省エネルギー技術戦略」



省エネにも、創エネにもまずは表面・界面

電子、光子の散乱損失低減が鍵

光子を使い尽くす加工技術

→近接場光:ドレストフォトン・フォノン

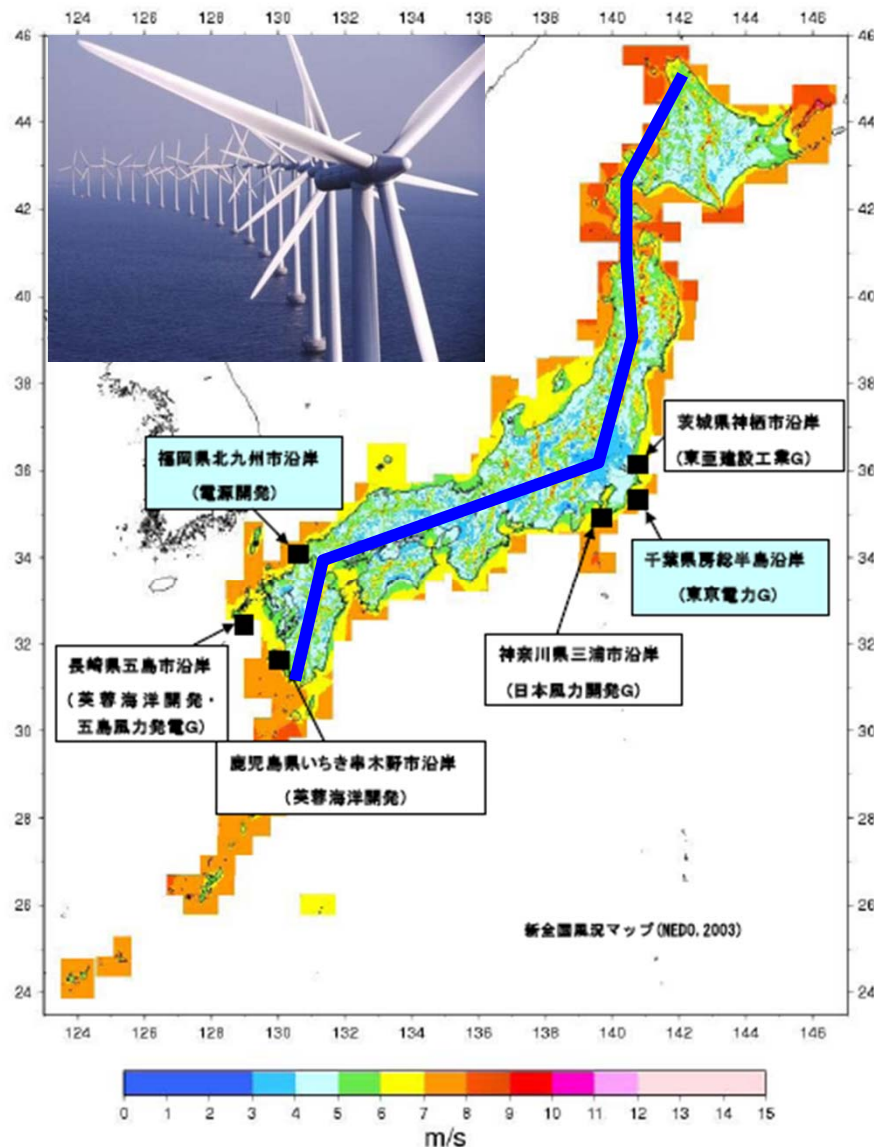
→近接場光加工:表面平滑化

→可能となる創エネルギー電子デバイス

洋上風力発電を可能とする

ダイヤモンドパワースイッチ

創エネルギー：洋上風力発電



NEDO平成20年度「洋上風力発電実証研究F/S評価」報告書(概要版)

沖合30km内の大陸棚(水深200m以内)に建設可能な洋上風力発電所の発電能力

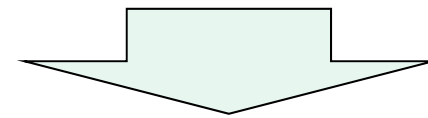
→ **1,200GW**

洋上風力発電設備の年間稼働率が10%

→ 1,020,000GWh

→ 石油換算量26,000万kL

→ **日本の年間石油輸入量
25,000万kLに相当**



**小型、高効率、
超高電圧(100 ~ 500 kV)**

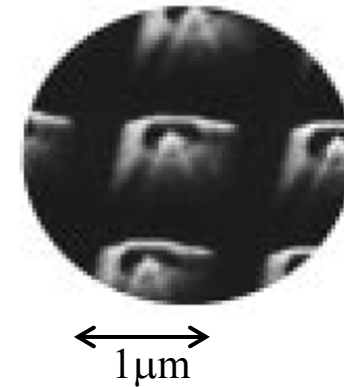
パワースイッチ

洋上風力発電に必要なパワースイッチ



■Si光サイリスタバルブ

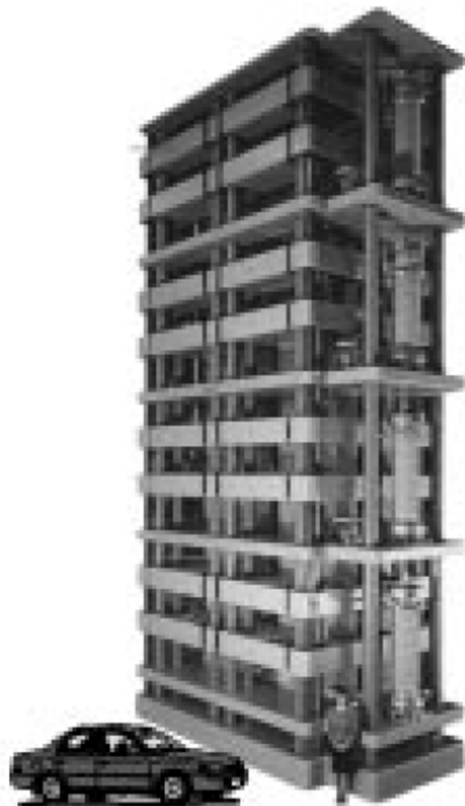
- 250kV, 1200A → 0.3 GW
- 効率99.5% → $P_{\text{loss}} = 1.5 \text{ MW!}$
- 11m x 6m x 3m (1相)



M. Nakamoto & K. Fukuda, JJAP **42** (2003) 3611

- 真空: 良い絶縁
- コンパクト
- 散乱のない電子輸送による高効率
- (x) 電界電子放出
—構造敏感性、電流集中

高電圧真空スイッチへの要求:
自発的な低エネルギー電子放出

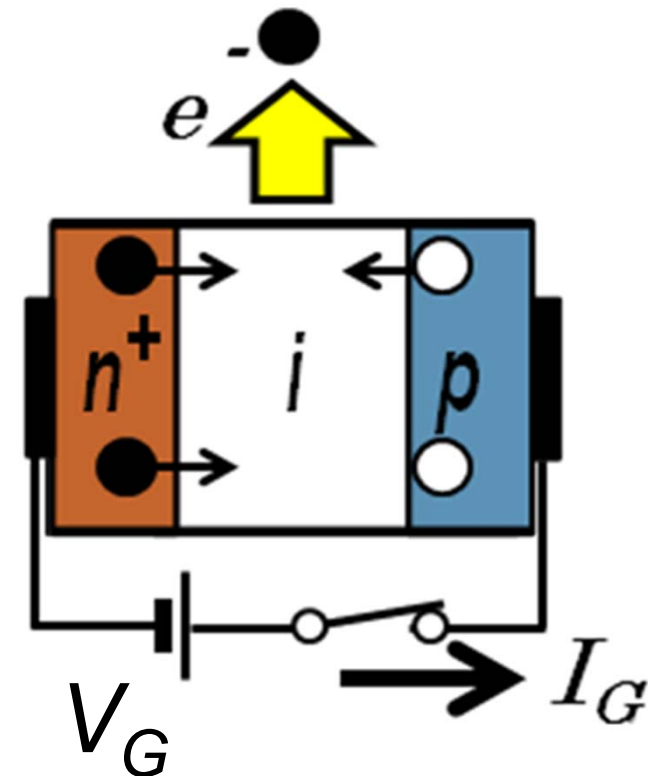
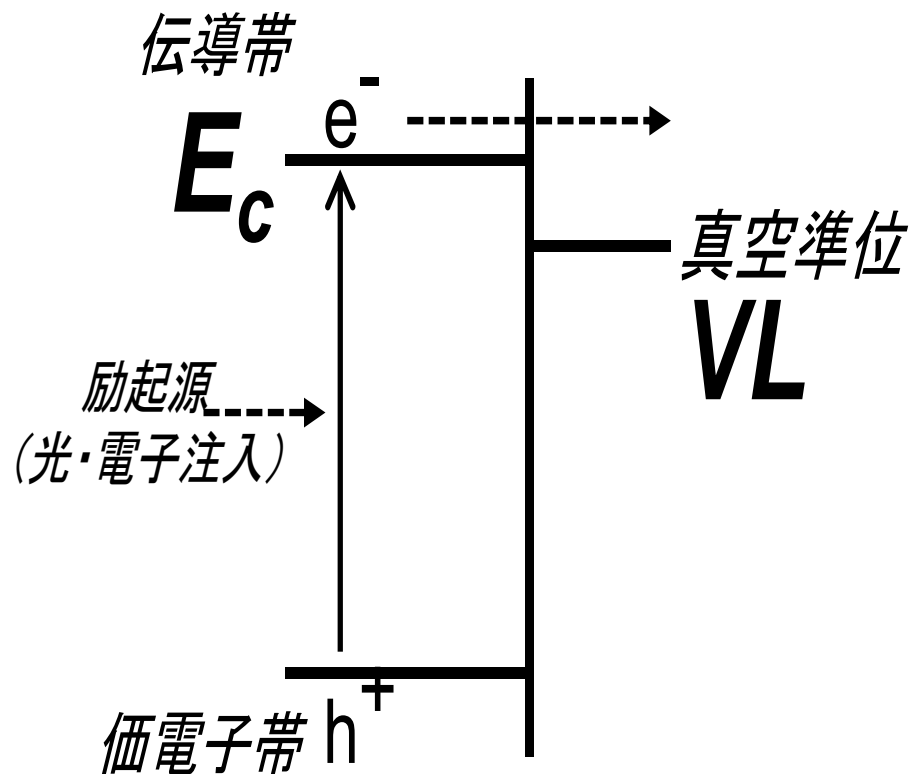


ダイヤモンドNEA電子源素子の概念図



負性電子親和力 (Negative Electron Affinity: NEA)

$$\underline{NEA: VL < E_c}$$

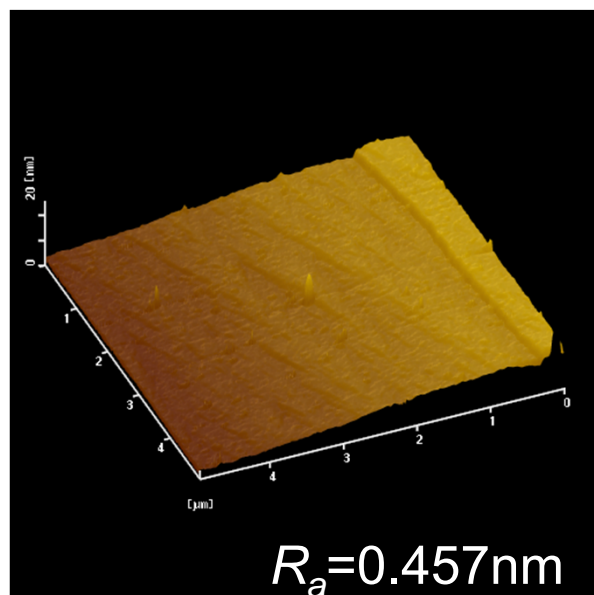


NEA表面(水素終端)を持つ
ダイヤモンド

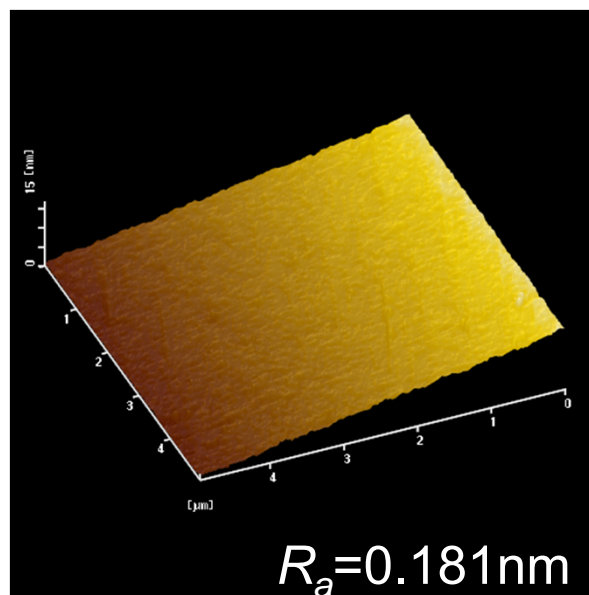


ダイヤモンド電子源の開発には表面・界面の制御が不可欠

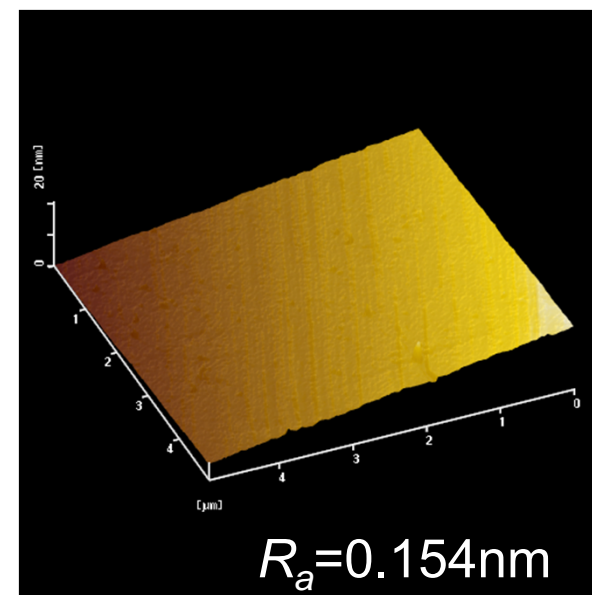
Diamond (111), Ib
0 min



30 min



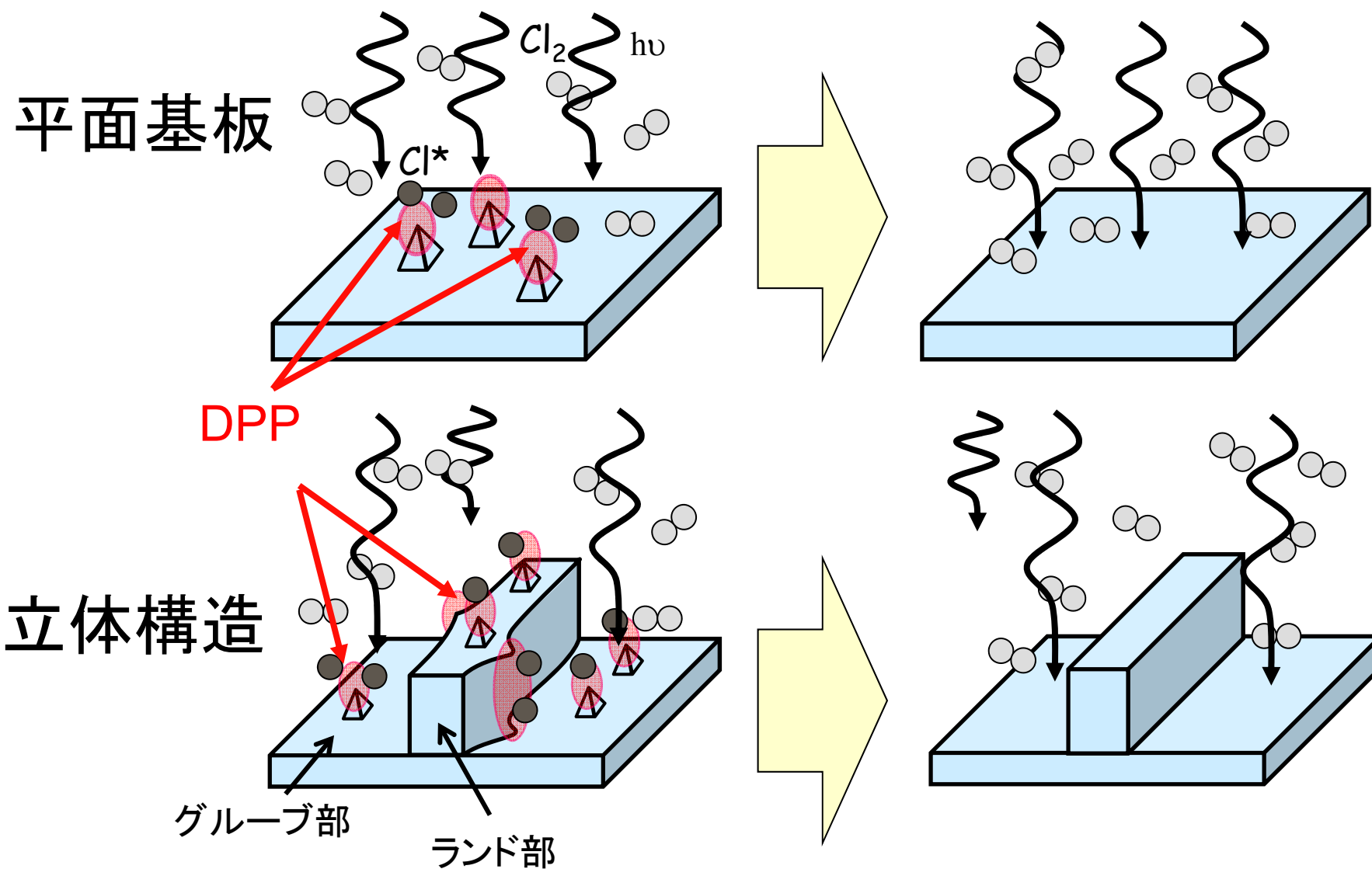
60 min



JST 先端的低炭素化技術開発 

T. Yatsui, et al., J. Phys. D, **45**, 475302 (2012)

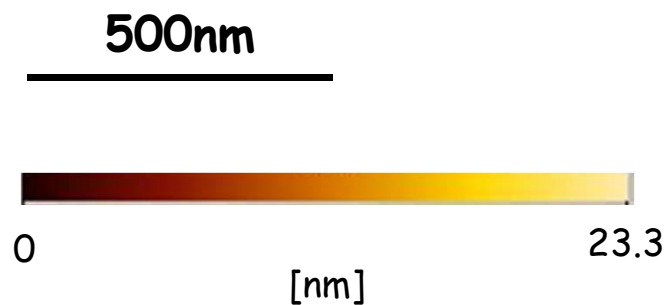
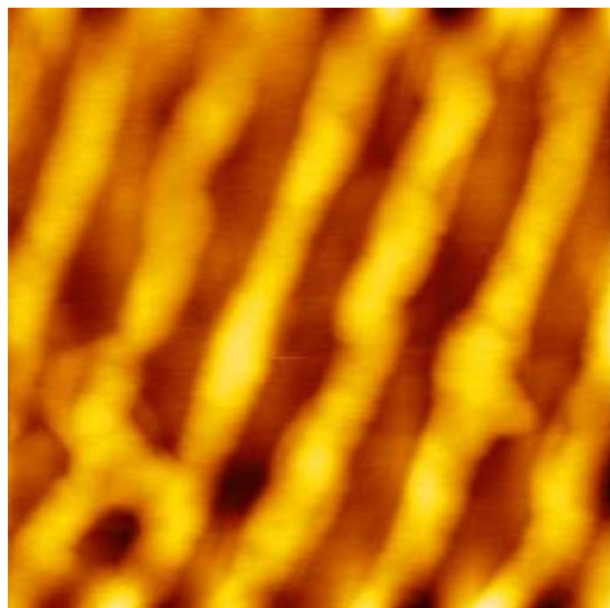
平面基板⇒立体構造



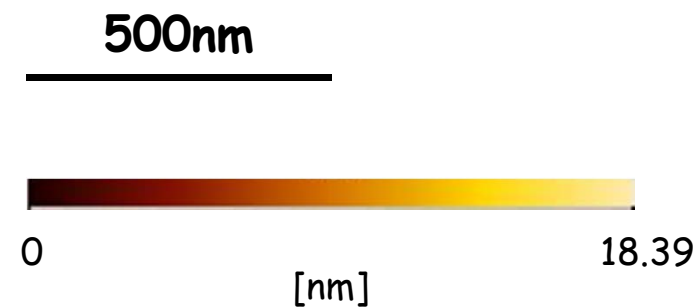
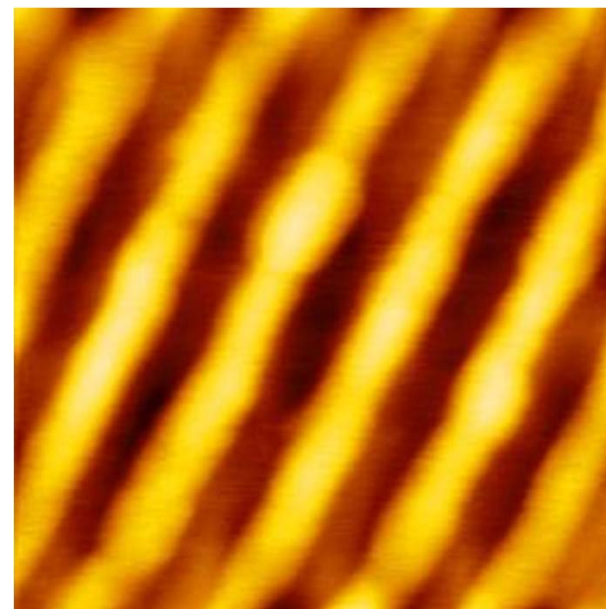


近接場光エッチングによるナノウォール基板平坦化

エッチング前



エッチング後



T. Yatsui, et al., Appl. Phys. B, 103, 527 (2011)



省エネにも、創エネにもまずは表面・界面

電子、光子の散乱損失低減が鍵

光子を使い尽くす加工技術

→近接場光:ドレストフォトン・フォノン

→近接場光加工:表面平滑化

→可能となる創エネルギー電子デバイス

洋上風力発電を可能とする

ダイヤモンドパワースイッチ

➤ 近接場光エッチング

平田和也, 森本隆志, 多幡能徳




➤ DPP理論

小林潔先生



➤ 東京大学 大津グループ



- ¥  エネルギー使用合理化技術戦略的開発・先導研究(H20~H22)
省エネルギー革新技術開発事業・挑戦研究(H21~H23)



平成22年度レアアース等利用産業等設備導入補助金



JST先端的低炭素化技術開発



産総研 & CREST (JST):

竹内大輔、牧野俊晴、加藤宙光、小倉政彦、中島昭、
大串秀世、大橋弘通、西澤 伸一、山崎 聡



物材機構: 小泉 聡

