

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

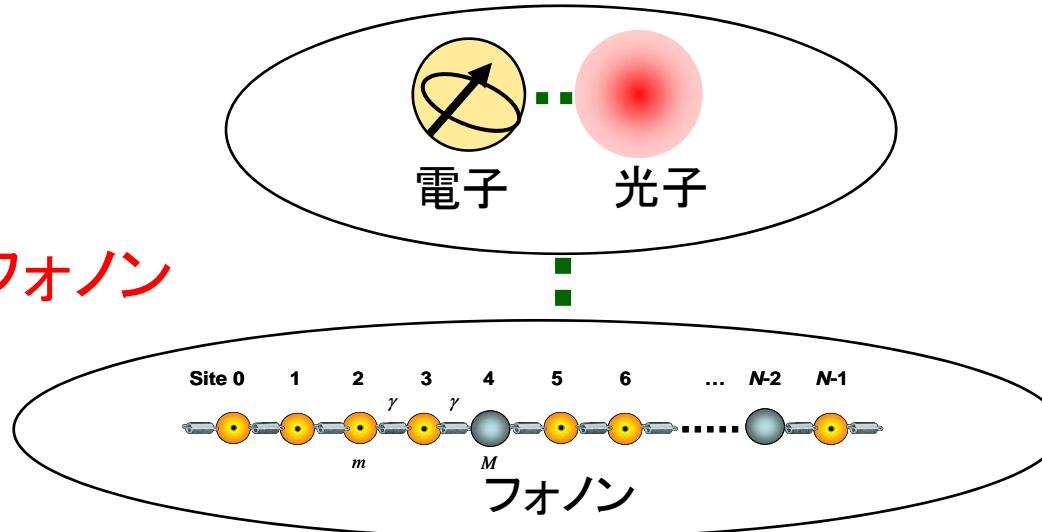
ドレストフォトン・フォノン (DPP)



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

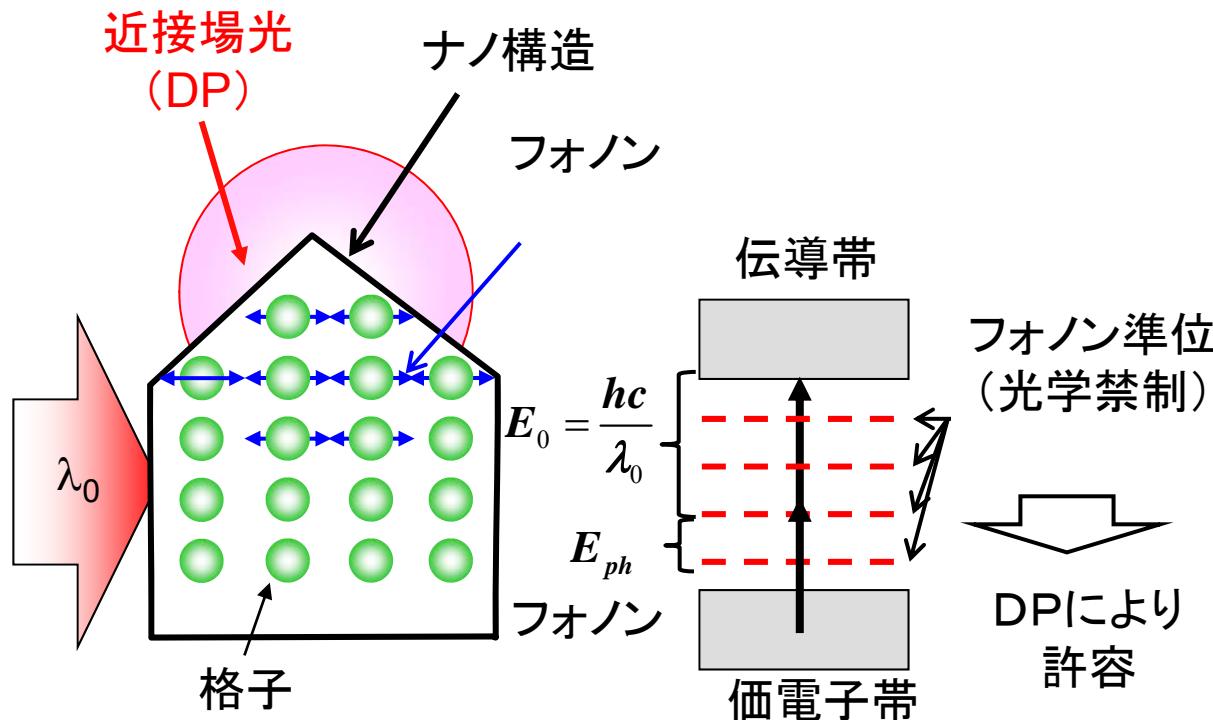
低い光子エネルギーの光（長波長の光）が入射してもナノ寸法物質近隣の物質は高いエネルギー（短波長の光に相当）を受ける。



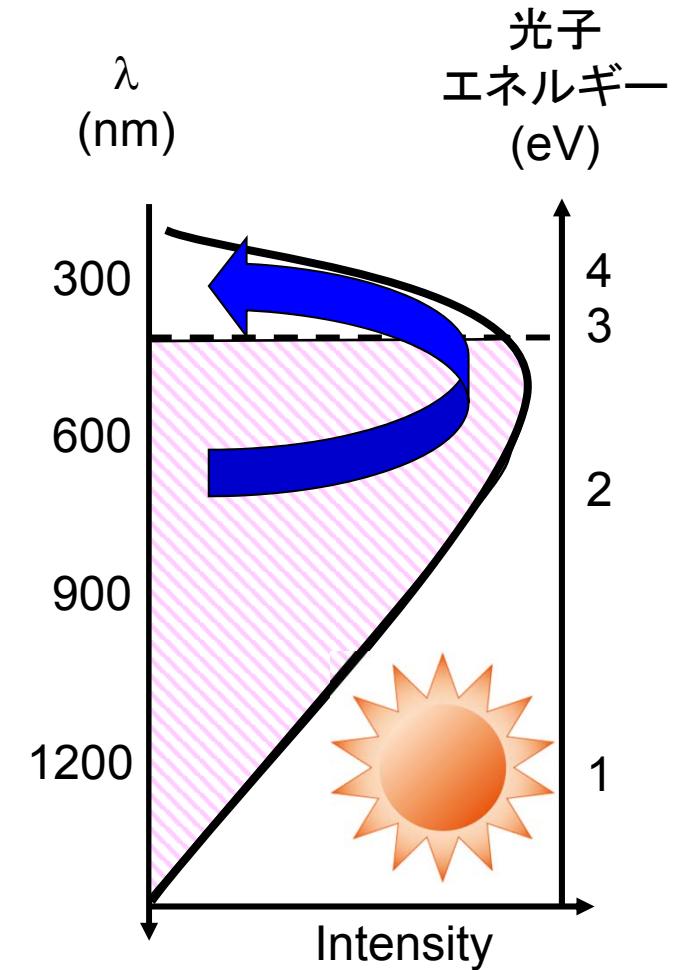
- 物質はドレストフォトン・フォノンを吸収し、反応・応答する。
- 物質中の分子振動モード、フォノンモードも励起され反応・応答に関与：フォノン援用過程



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

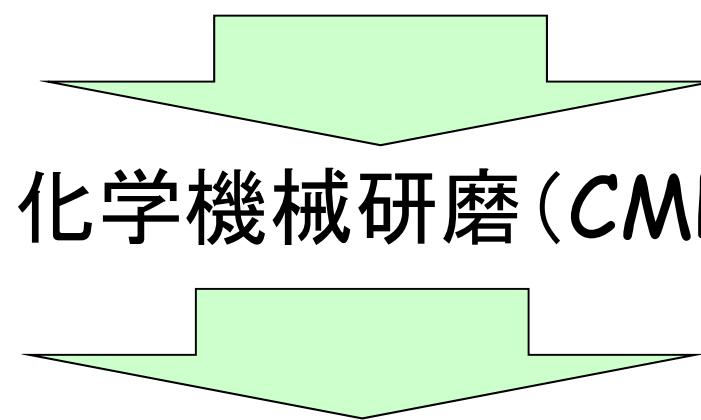
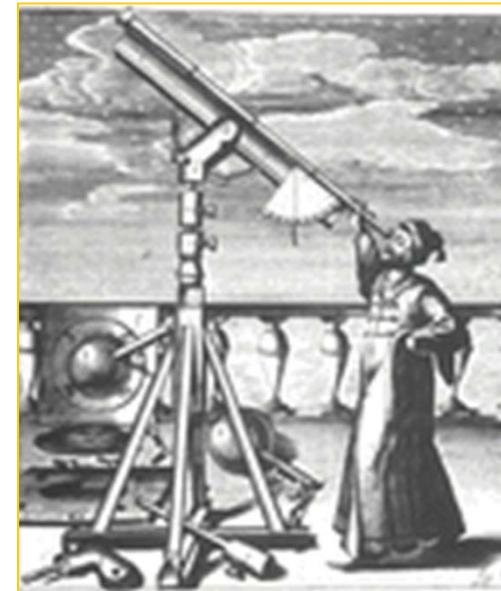
→近接場光加工:表面平滑化

→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

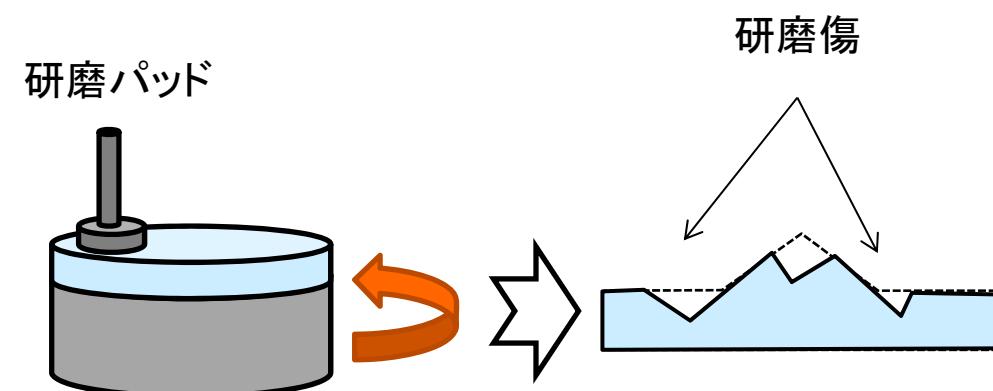


Galileo Galilei
1564- 1642



化学機械研磨(CMP)

平坦化に限界

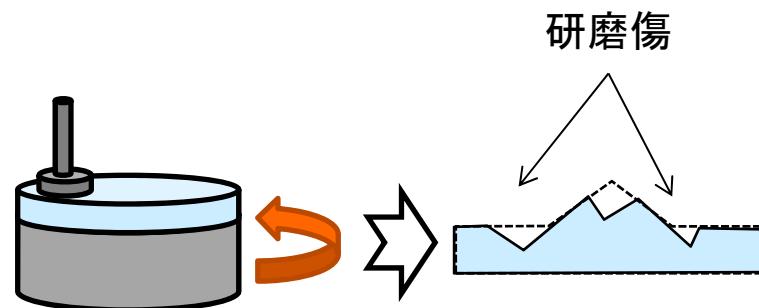


研磨傷

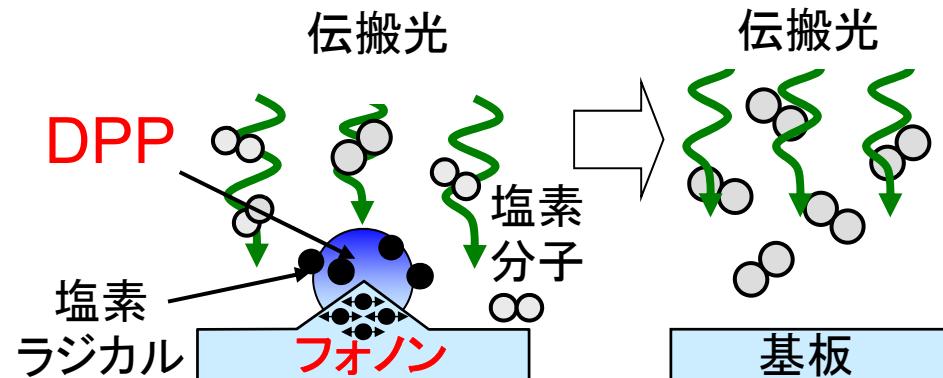
化学機械研磨(CMP)

VS

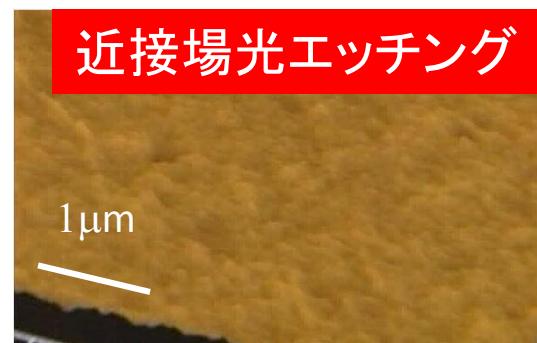
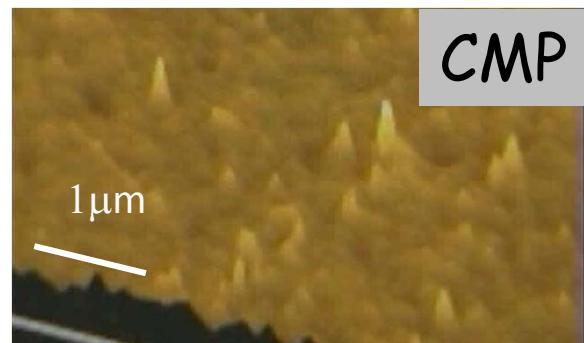
近接場光エッチング



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



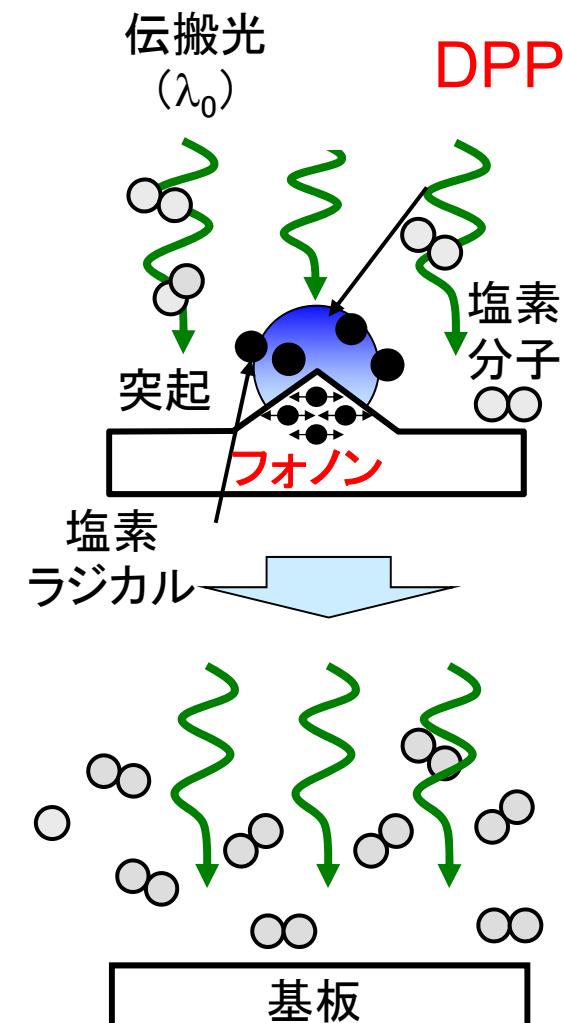
↔ 非接触
↔ 最小Ra: 原子スケール
↔ レアアース不要
↔ 自己収束プロセス





近接場光エッチングによるÅ平坦化

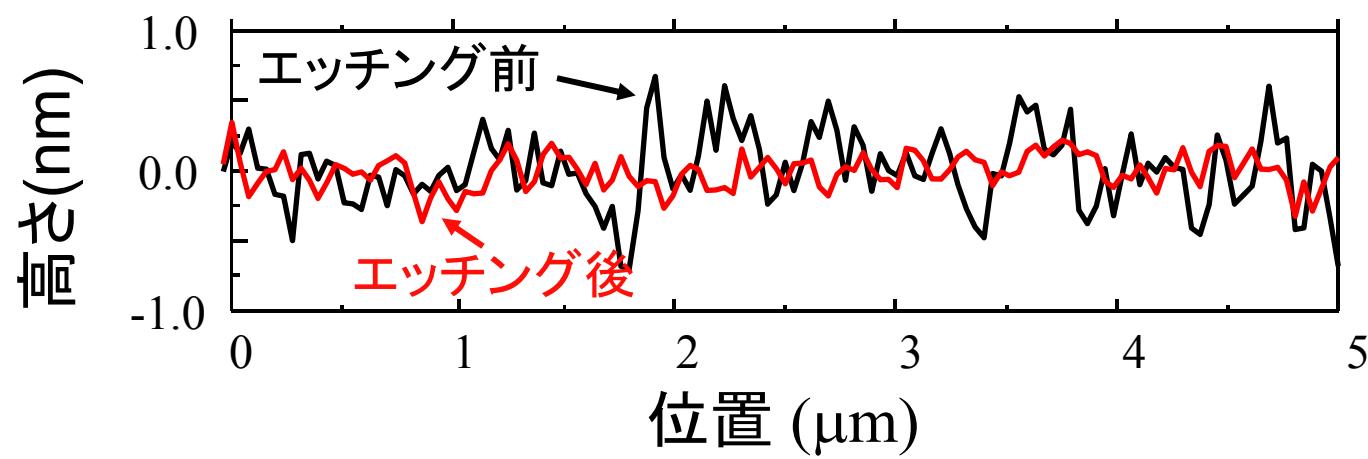
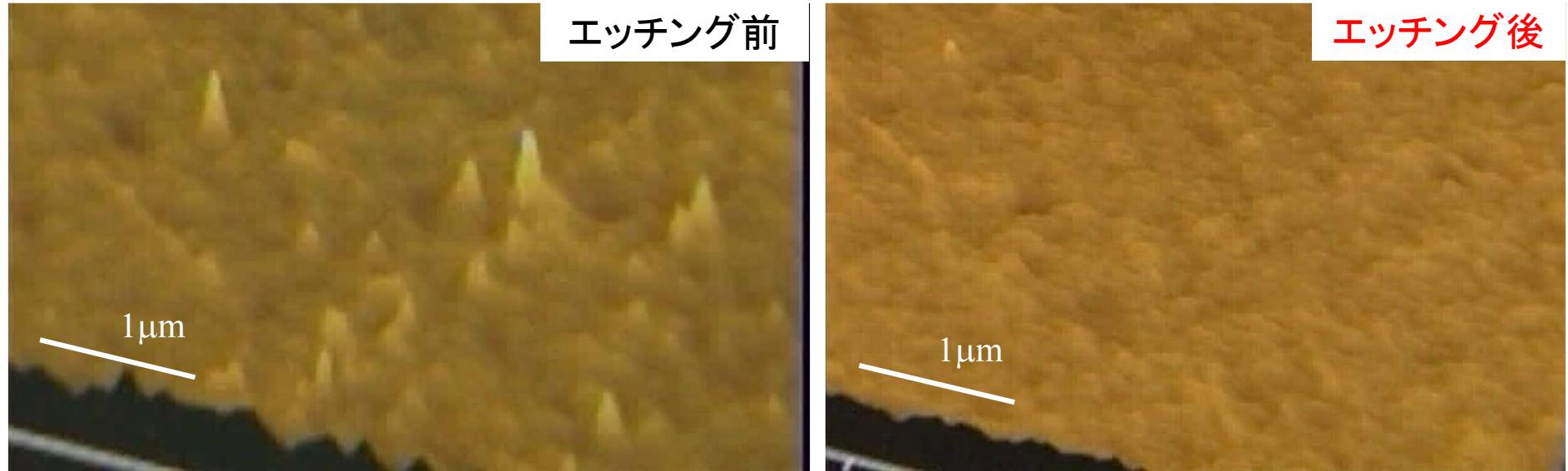
$\lambda_0=532\text{nm}$ > 塩素分子の吸収端波長~ $\lambda=400\text{nm}$



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

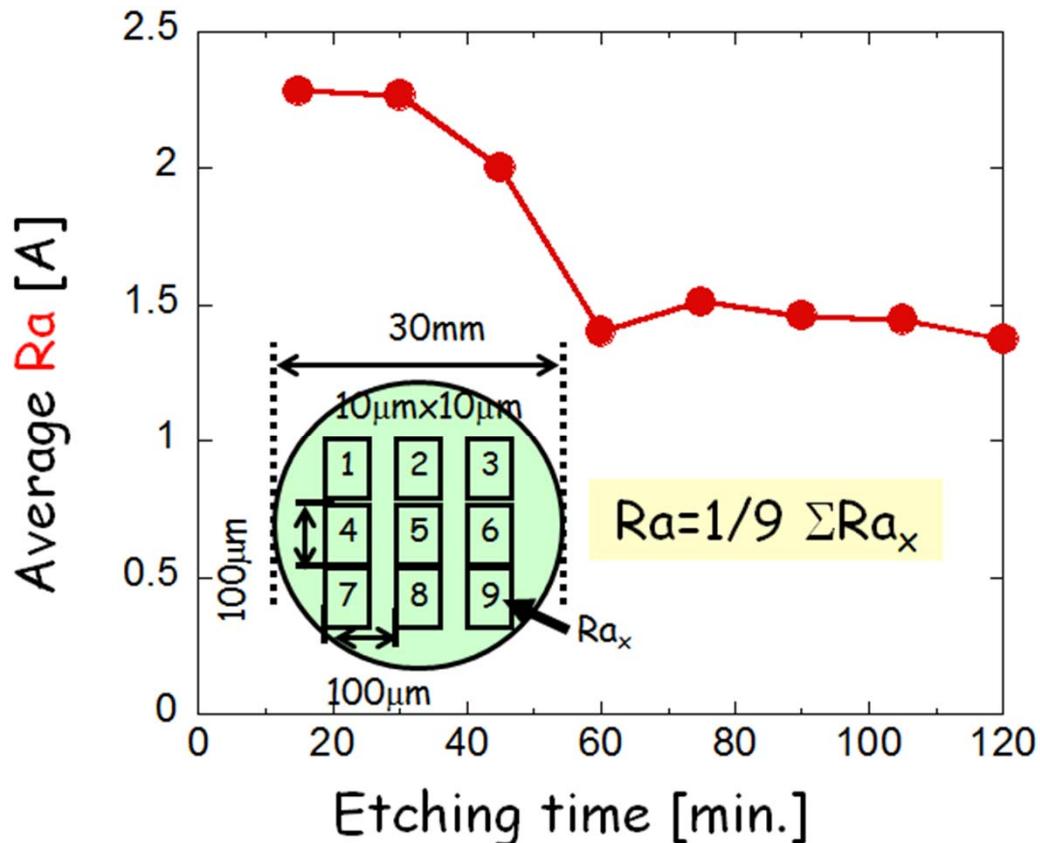


近接場光エッチングによるÅ平坦化





表面粗さ R_a のエッチング時間依存性

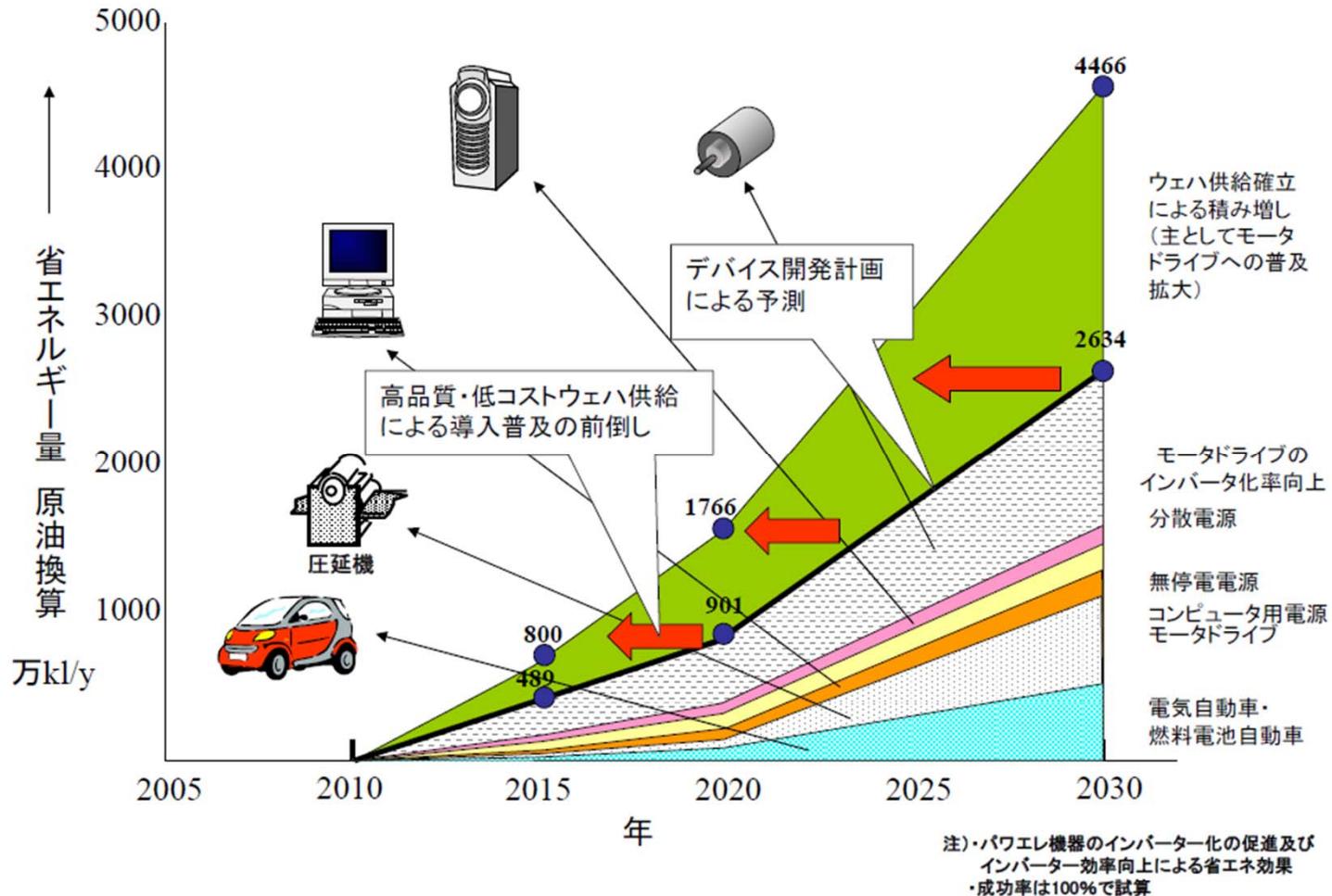


世界最高の
レーザ耐性を実現

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」

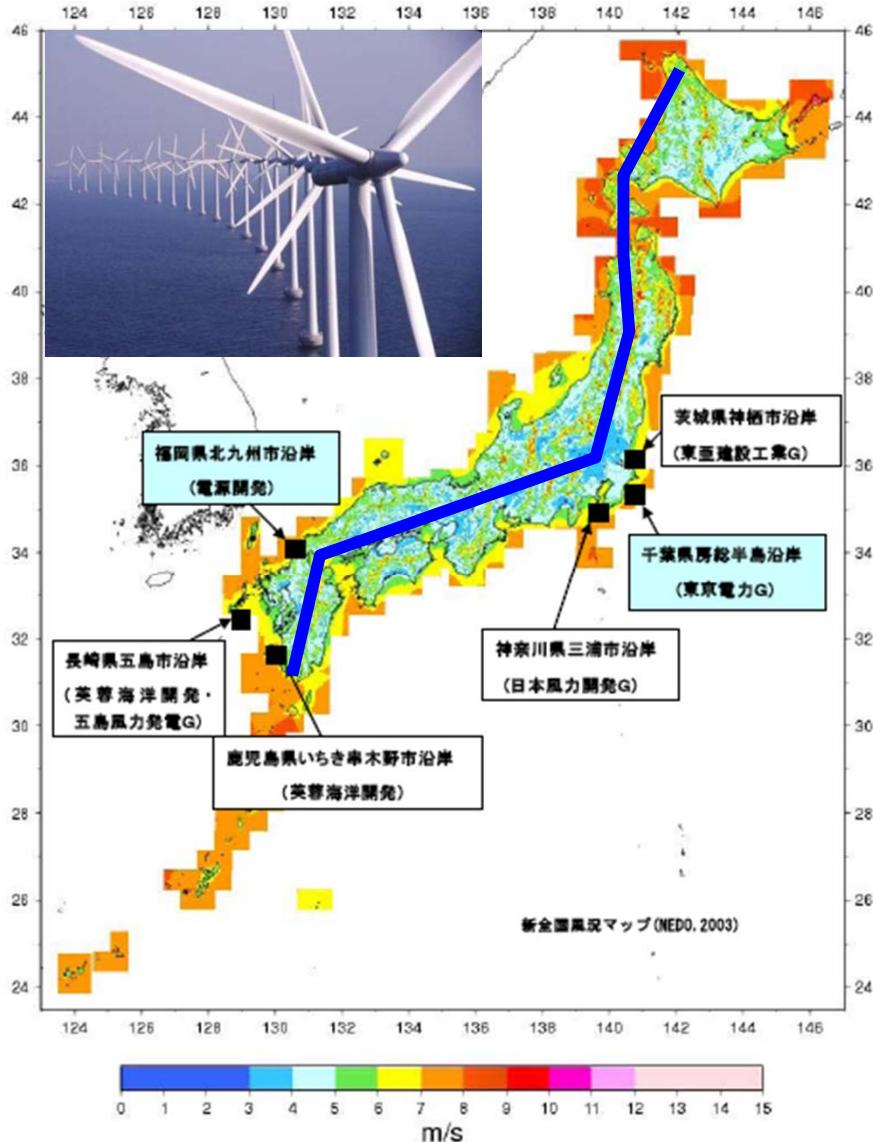


省エネにも、創エネにもまずは表面・界面
電子、光子の散乱損失低減が鍵
光子を使い尽くす加工技術

→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内の大陵棚(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)

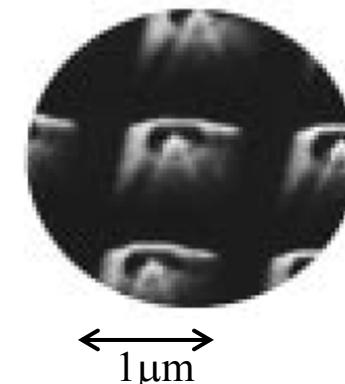
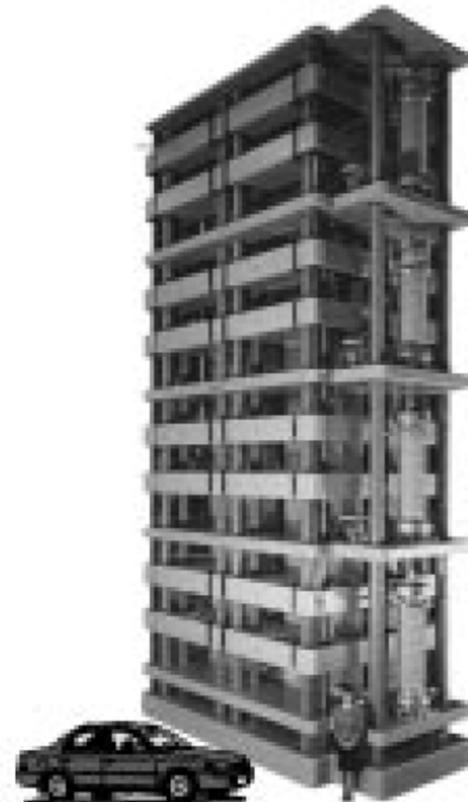
パワースイッチ

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% → $P_{loss} = 1.5 \text{ MW!}$
- 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

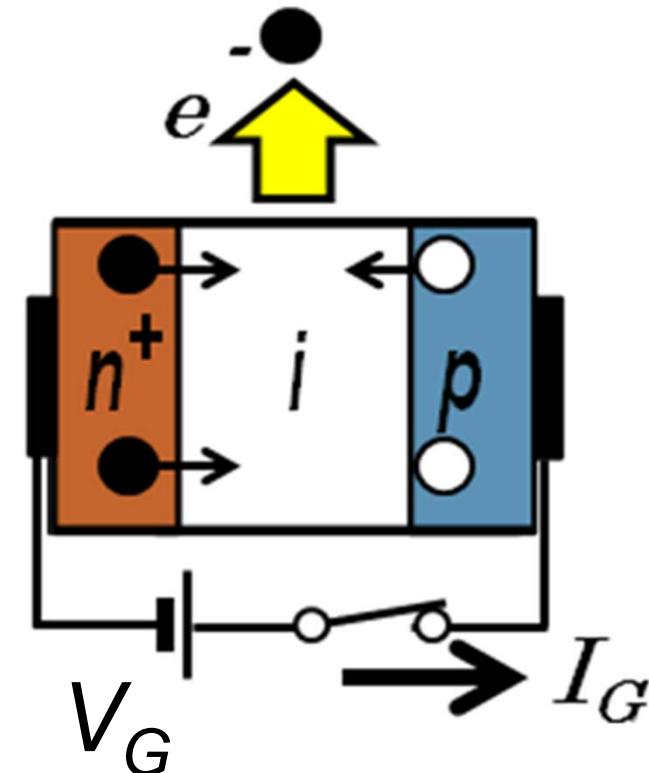
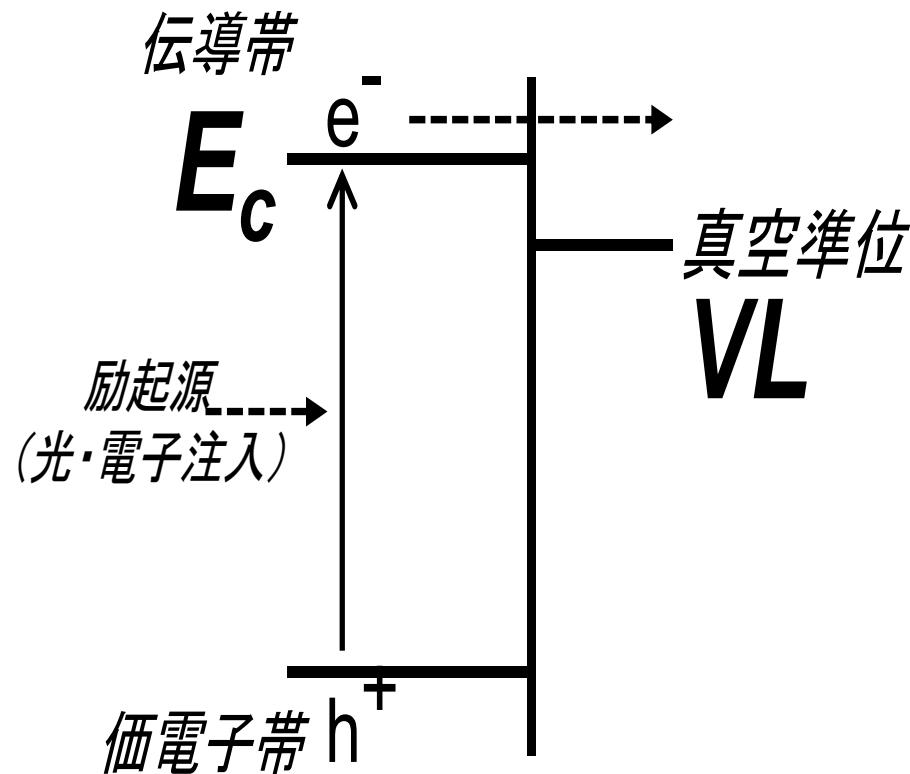
高電圧真空スイッチへの要求:
自発的な低エネルギー電子放出

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)

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



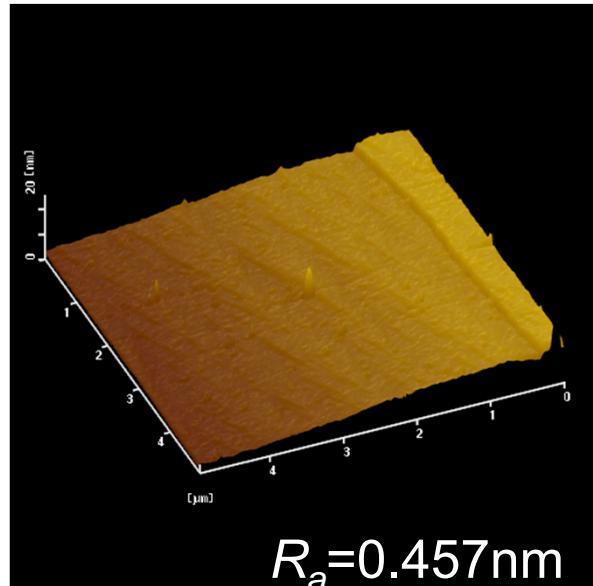
NEA表面(水素終端)を持つ
ダイヤモンド



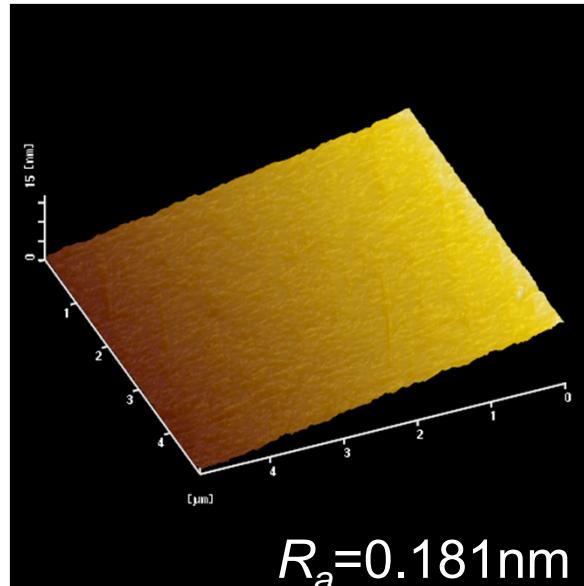
ダイヤ電子源の開発には表面・界面の制御が不可欠

Diamond (111), Ib

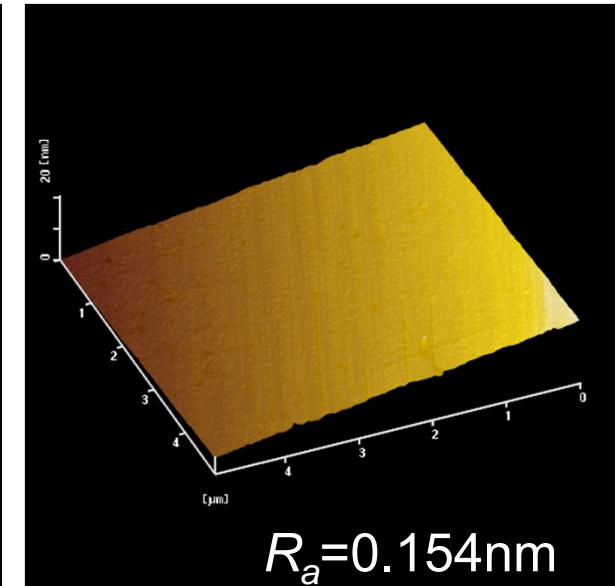
0 min



30 min



60 min



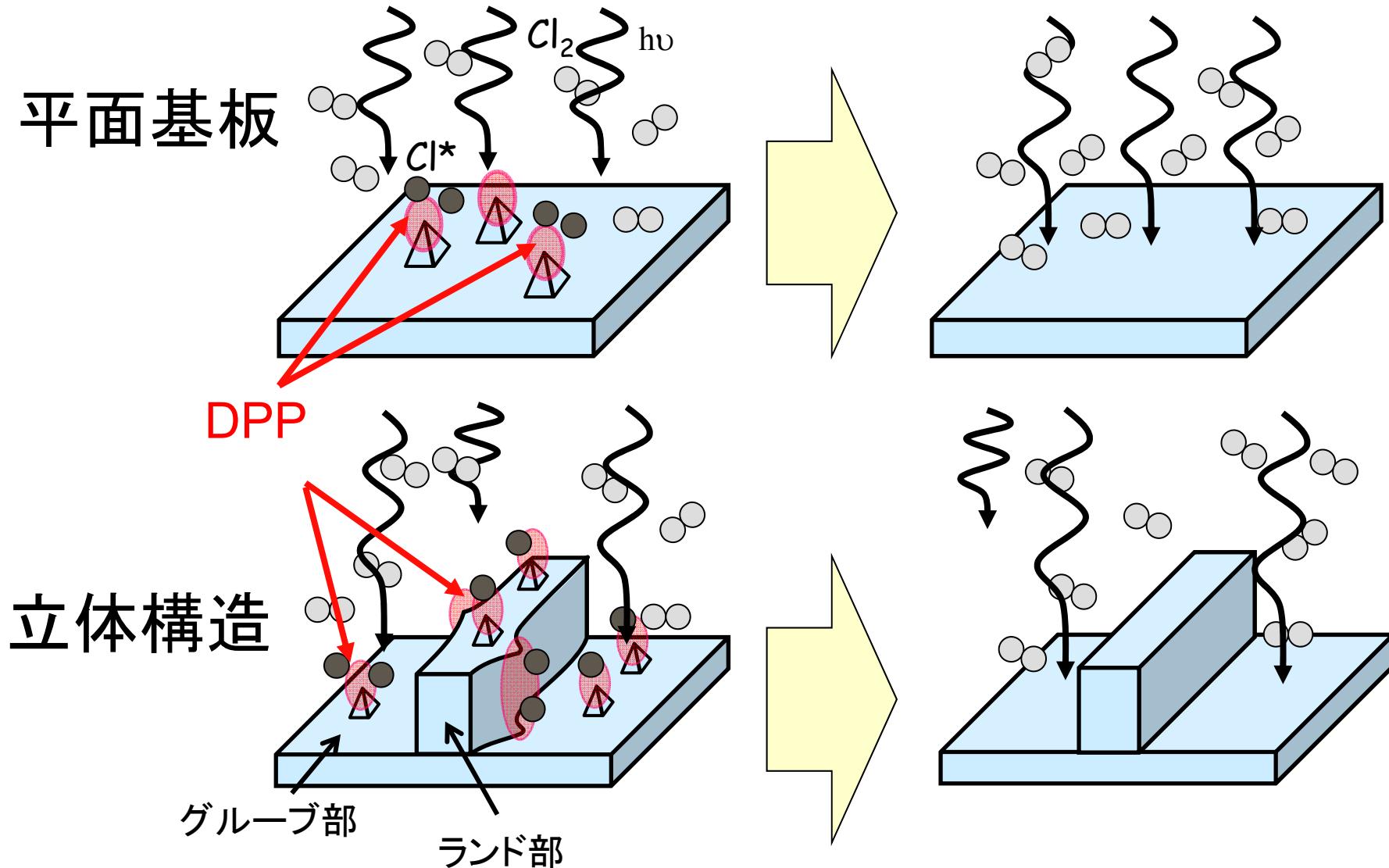
JST 先端的低炭素化技術開発



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



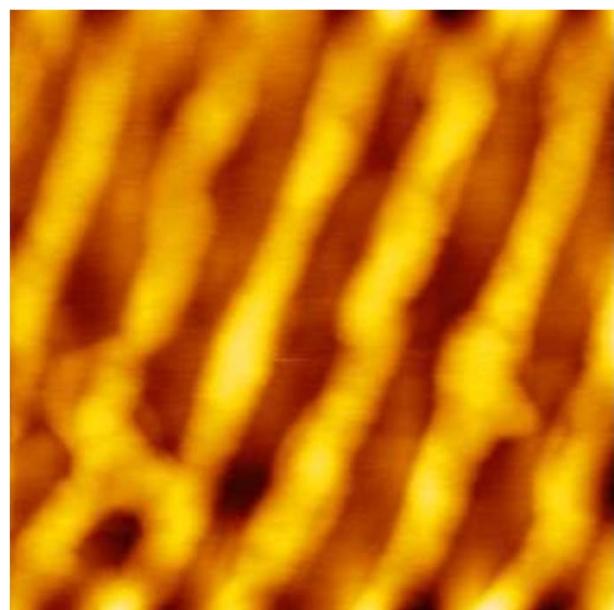
平面基板 \Rightarrow 立体構造



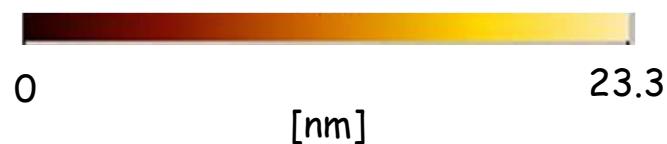


近接場光エッティングによるナノウォール基板平坦化

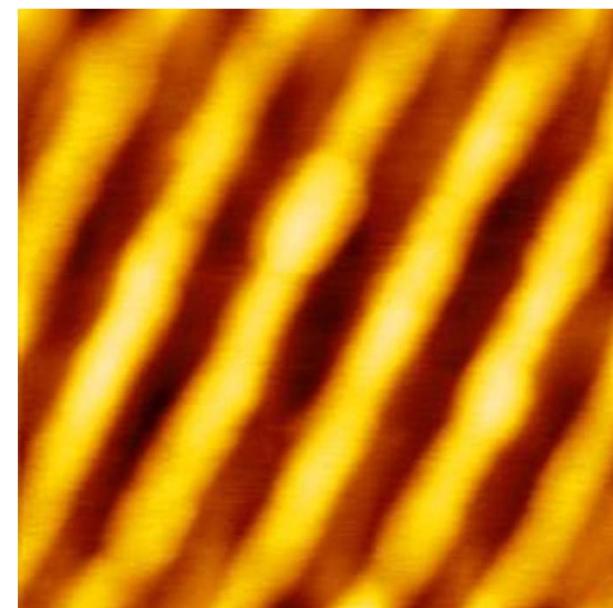
エッティング前



500nm



エッティング後



500nm



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





謝辞

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、山崎聰



物材機構: 小泉聰

