

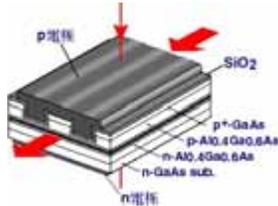
ナノITネットワークの短中期的な研究開発戦略

～ ナノITネットワークWG報告書概要 ～

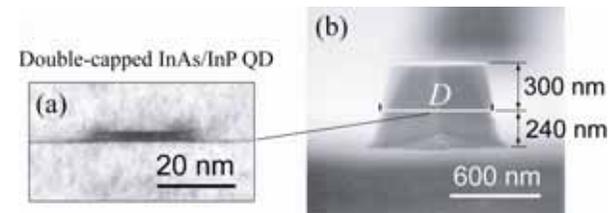
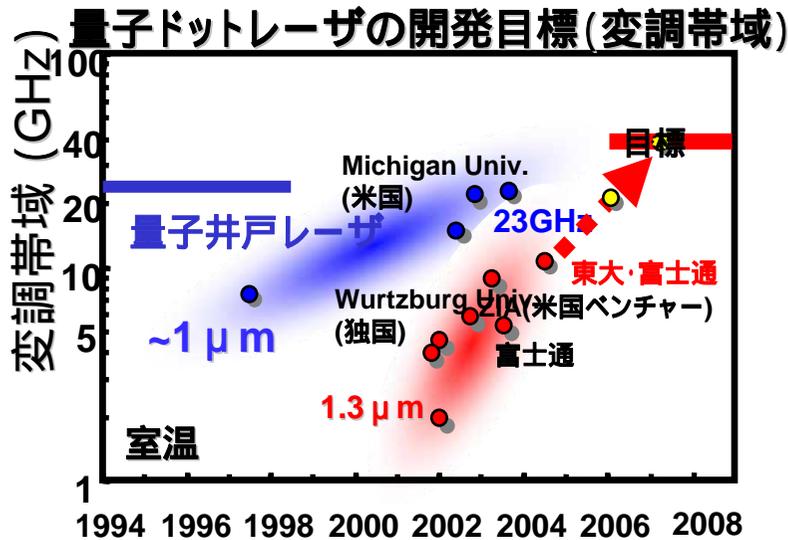
21世紀ネットワーク基盤技術研究推進会議
ナノITネットワークワーキンググループ

ナITネットワーク技術の最近の動向

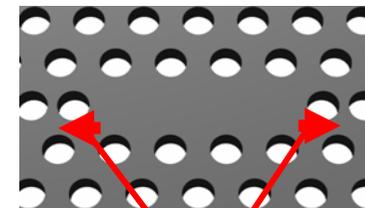
- 光ネットワークの高機能化や量子情報通信等への幅広い応用を切り拓く要素技術として、量子ドットやフォトニック結晶の高性能化に関する研究開発が諸外国で活発化
- 近年、国内でも高速変調量子ドットレーザー、高Q値フォトニック結晶等に関し、世界初・世界最高級の成果



- 20 ~ 70 nm まで無調整で10GHz変調動作の量子ドットレーザを世界で初めて実現
- 世界最高性能の半導体光増幅器を実現



- 通信波長帯で単一光子発生素子を世界で初めて実現
- 世界最高のQ値を有するフォトニック結晶に成功



shift

- 再生中継器等フォトニックネットワーク技術や高効率量子暗号通信システムへの応用が期待

ユビキタスネット社会におけるナノITネットワークの実現像

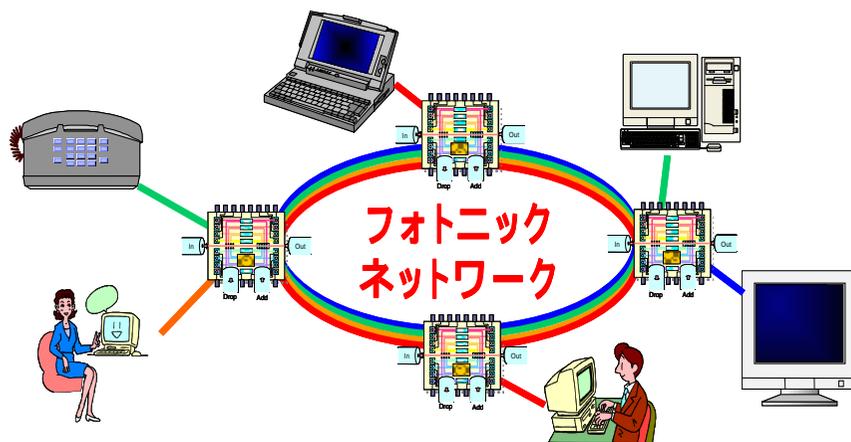
ユビキタスネット社会のトラフィック需要に対応する高速・大容量ITネットワークの実現に伴う、消費電力、サイズ等の問題がナノ技術の活用により解決

コアネットワークからアクセス系までの高速化が実現し、エンド - エンドでストレスのないネットワークサービスが確保

ネットワークの環境負荷低減が実現(温室効果ガス等の1990年比6%削減が義務付け(平成17年2月16日 京都議定書))
情報を量的制限無く、無条件安全に送受信することのできる量子情報通信ネットワークの実現に貢献

量子ナノ技術をベースとした革新的なITネットワークが実現

ネットワークの高速・大容量化と小型・省電力化が両立



ナノITネットワークの研究開発課題

ITネットワークの出口を見据えた課題

光ネットワークの高機能化

- ナノ光ネットワークデバイスデザイン
 - ナノフォトニクス情報処理
 - ナノ光集積回路を搭載した全光ルーターシステム
 - 超高速全光信号処理
 - シリコンフォトニクス
- ・超小型光ノード、ユニバーサルコネクション技術
- ・再生中継器プロトタイプ、高速ビットメモリ

中期的課題

(2015年までの実現に向け、2010年までに要素技術を確認すべきもの)

短期的課題

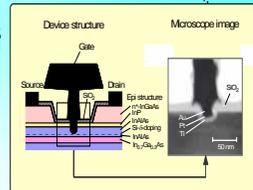
(2010年までに実現すべきもの)

■ ナノ構造光非線形素子

■ 量子ドットによる単一光子・量子もつれ光子対の発生

■ 室温動作可能な量子システム

- ナノスケールHEMT技術
- 超高周波ナノ技術
- カーボンナノチューブFET



未利用周波数帯の開拓

- 超広帯域無線、テラヘルツセンサ応用
- ユニバーサルネットワーク応用

量子情報通信応用

- 量子ナノデバイスの開発
- 量子情報処理系への実装

- サブナノ技術
- 複合材料デバイス

ナノIT技術基盤

・原子スケール制御、ボトムアップ・トップダウン融合

光ネットワークの高機能化

- ▶ ナノ技術活用により、光ネットワークの量的伸長だけでなく、光3R再生、光バッファメモリを用いた高速信号処理等、光ネットワークの高機能化を目指す。
- ▶ 具体的には、1.55 μm 帯に応答する量子ドット技術や、従来の光ファイバに比べて50～100倍の高い非線形性が期待できるフォトニック結晶ファイバ技術を確立し、再生中継器や波長変換器等、フォトニックネットワークへの適用を図る。
- ▶ 加工性・低コスト性に優れるシリコンを母体としたフォトニクス技術の開発により、光通信機器大量生産と大幅コストダウン、小型集積化を図るとともに、究極的な光・電子融合技術への展開を検討。
- ▶ ナノテクノロジーにより光非線形効果の制御技術や光伝播の制御技術を発展させ、電子回路では制御困難な160Gbps以上で動作する全光信号処理回路を実現。
- ▶ 中期的には、量子ドット、フォトニック結晶、MEMS、CMOSフォトニクス技術の融合によるワンチップナノ光集積回路、及びそれを搭載した低消費エネルギーの全光ルーターシステムを開発。
- ▶ 別のアプローチとして、近接場光を情報キャリアとして少数のナノ物質を微視的励起することにより新規光デバイスを動作させ、それらを組み合わせて通信と情報処理の枠組みを超えた、新たなITシステムの構築できる可能性。
- ▶ 数値的手法と物理的手法によるネットワークシミュレータを開発し、デバイス性能・機能をパラメータとしてネットワーク性能・機能を分析するなど、より効率的なシステム開発技術を確立しつつ、光ネットワーク高信頼化に指針提供を行うことが重要。

光ネットワークの高機能化

2008年

- ・ 1.55 μm 帯量子ドット作製条件の確立
(高速非線形応答、低チャープ性、波長一括等を利用した光増幅器、波形整形素子、狭線幅レーザ、波長変換素子等を実現)
- ・ 光学利得や光波制御機能を有するシリコンデバイスの実現
- ・ 光メモリ(ビットメモリ、バッファメモリ)の原理確認

2010年

- ・ 再生中継器や波長変換装置等のプロトタイプの実現
- ・ ナノ光導波技術とナノデバイス技術による光集積度拡充及びそれによる機能発現
- ・ インターコネクションへの適用などCMOS技術との融合及びそれによる機能性拡充
- ・ 小規模集積光回路の実現
- ・ ビットメモリの高速動作
- ・ スイッチング速度0.1ナノ秒以下で、3R中継、信号のadd/dropや波長変換、ラベル識別の動作実証
- ・ 光RAMなど革新的ナノ素子の開発
- ・ ナノITネットワークのモデル化と評価
- ・ 光波・電子・超高周波電磁波融合ネットワーク設計

2015年

- ・ 1チップで全てのルーティング機能を実現
- ・ 光ルーター駆動制御系の小型化
- ・ ネットワークの戦略的構築法や運用効率化
- ・ 高信頼化設計

< 要素技術 >

- ・ 1.55 μm 帯量子ドット形成技術、フォトニック結晶ファイバ応用技術
- ・ ナノ光回路技術、ナノ光デバイス、光 - CMOS融合技術
- ・ "Slow light"等のナノ量子デバイス開発・材料探索、フォトニック結晶技術(高Q値光回路、3次元閉じ込め機能)、光メモリ技術
- ・ 全光スイッチング・ロジック・3R素子技術、ナノ導波路技術(プラズモンを含む) 等

未利用周波数帯の開拓

- ナノ技術活用により、光と電波の間において良質の信号源、光源等の開発が遅れていた、テラヘルツ技術の開発を促進し、テラヘルツ帯の利活用を図る。
- 具体的には、Siに比べ1桁以上高い電子移動度を持つ化合物半導体にナノゲート構造を形成することで、バリステック輸送現象の顕在化によりテラヘルツ動作が可能な超高速素子が実現。
- 量子カスケードレーザ、サブバンド間遷移デバイス等、ナノ半導体技術(信号源、検出器、端末、センサ、その他)の確立により、テラヘルツ波帯の電磁波資源を本格的に開拓。
- 中期的には、Siに比べ1桁以上高い電子移動度を持つカーボンナノチューブにナノゲート構造を形成することで、バリステック輸送現象の顕在化によりテラヘルツ動作が可能な超高速素子が実現。

2008年

- ・ 45nm HEMTの開発
- ・ 超高速光通信用ICの開発
- ・ 半導体テラヘルツデバイスの開発

2010年

- ・ 超高速ADC (>100Gサンプリング/s)の開発
- ・ 40GHz以上の超広帯域ワイヤレス伝送技術への展開
- ・ テラヘルツセンサへの展開
- ・ 並列チャネル・カーボンナノチューブFETの開発(200GHz動作)

2015年

- ・ ナノゲート・カーボンナノチューブFETの開発(テラヘルツ動作)

<要素技術>

- ・ 化合物半導体用ナノゲート構造作製技術、ナノゲート構造に対応した結晶構造作製技術、超高速素子特性を引き出すためのインターフェース技術
- ・ 半導体量子構造中サブバンドエンジニアリング 等

量子情報通信応用

- 量子ドットやフォトニック結晶技術の活用により、量子ナノデバイス技術の開発を促進し、量子情報通信への応用を図る。
- 具体的には、In(Ga)Asをベースとする量子ドットを活性媒体として、フォトニック周期構造との集積により、1.3 ~ 1.55 μm 帯の単一光子の発生、ないしは複数光子対の相関制御を可能とするデバイスを実現。
- 更に、量子ドット、フォトニック結晶、MEMSの融合による、小型で室温(もしくは高温)動作可能な高効率量子暗号通信システムの実現。

2008年

- ・ フォトニック周期構造による単一光子発生の制御

2010年

- ・ 量子もつれ光子対の発生と制御
- ・ 1.5 μm 帯で動作する単一光子発生素子の開発

2015年

- ・ 室温動作可能な単一光子発生素子・検出素子の開発
- ・ 量子中継を含む量子暗号通信システムの開発

< 要素技術 >

- 量子ドット形成技術(材料技術を含む)、フォトニック結晶形成技術
- 光物性制御技術(特に光り非線形動作)
- 室温動作可能な高効率単一光子発生素子技術 等

ナノIT技術基盤（中期的）

- ▶ サブナノ領域の構造制御技術、新材料と半導体との複合デバイス技術など、ナノ技術をITネットワークへ適用する上で必要となる基盤技術の確立を図る。
- ▶ 具体的には、サブナノ領域の精度を有する構造制御技術を確立し、トップダウン手法とボトムアップ手法のクロスオーバーにより、ナノ技術の選択肢を拡充。
- ▶ また、材料については、有機デバイスだけでなく、分子デバイス、バイオデバイスなどの実用化も視野に入れ、それらの新興デバイスと半導体デバイスとの融合により、相補的機能を発揮するハイブリッド材料デバイスを開発。

2010年

- ・ 基盤的サブナノIT技術の確立
- ・ 融合的結晶成長技術・プロセス技術の確立
- ・ 簡単な有機融合デバイスの試作

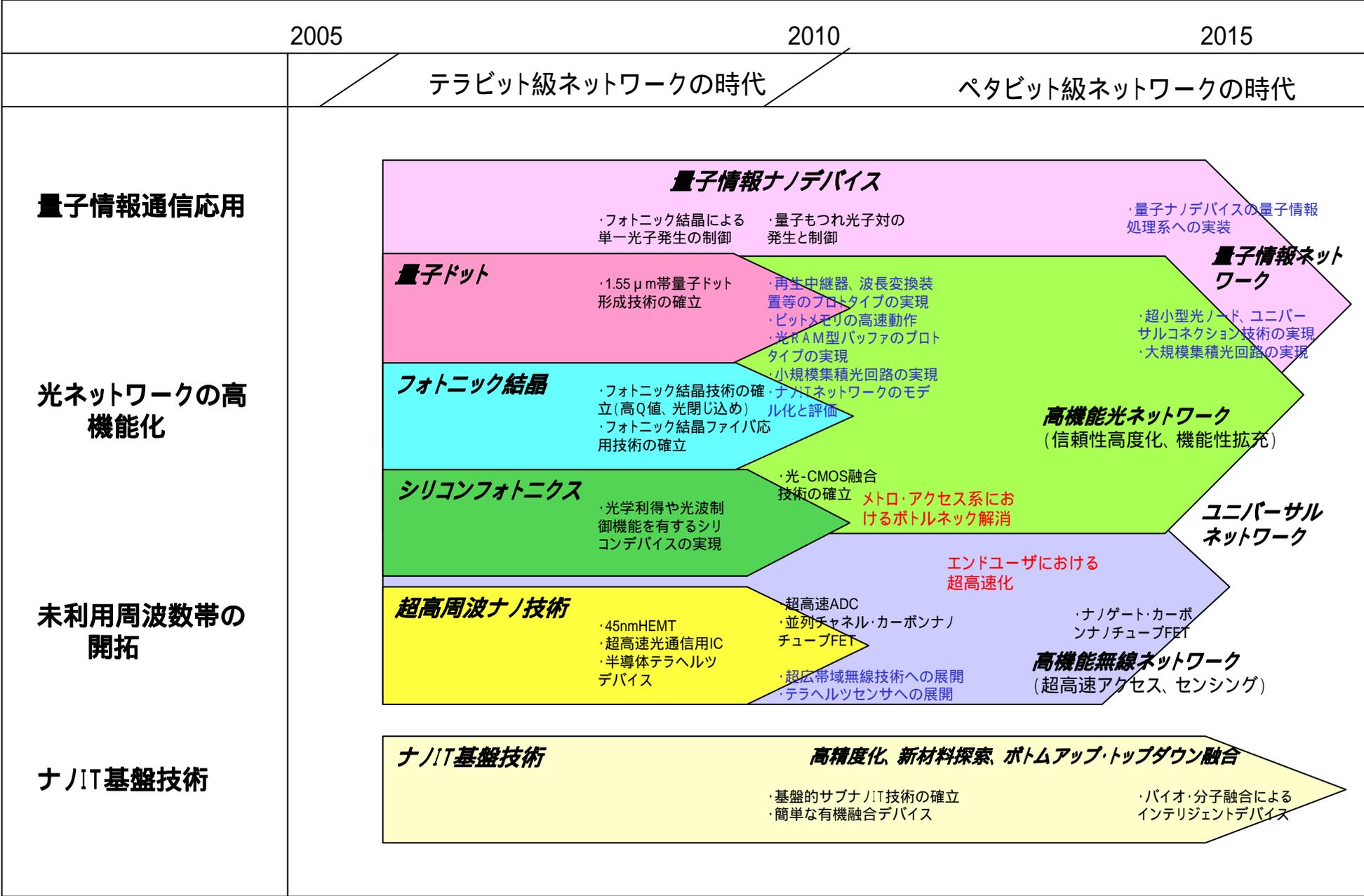
2015年

- ・ サブナノ制御されたナノITデバイスの試作
- ・ バイオ・分子融合デバイスの試作

< 要素技術 >

- 先端リソグラフィ技術、分子設計的アプローチ
- 複合材料に対応した融合的結晶成長技術・プロセス技術 等

ナノITネットワークの技術開発ロードマップ(案)



ナノITネットワーク研究開発の全体戦略について(案)

次世代フォトニックネットワーク

極限フォトニックネットワークプロジェクト

光RAMを用いた全光超高速信号処理や高周波数利用効率伝送技術など、究極のフォトニックNW技術の実現に向け、ナノ技術を活用した研究開発を実施

2010年 光パケットルーターへ適用可能な光RAM要素技術の確立 2015年 全光パケット処理集積型ルーターの実現

ナノ技術を活用した超高機能ネットワーク技術の研究開発

ナノ技術を活用し、中継伝送、交換部分等、ネットワーク構成要素の小型化・省電力化を実現するための研究開発を実施し、プロトタイプを2008年度までに開発

2008年 光再生中継器、光遅延型OADM等のプロトタイプ開発

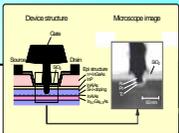
研究者ネットワーク

ナノ技術に関する情報交換、ノウハウの共有等

テラヘルツICT基盤プロジェクト

超高速無線や新機能センシング等、多様なテラヘルツICT応用の共通要素技術となる光源・検出技術に関し、ナノ技術を活用した研究開発を実施

2010年 10GbpsTHz無線、二次元THzイメージングセンサの実現
2015年 40GbpsTHz無線、リアルタイムTHzイメージングセンサの実現



量子ネットワーク基盤技術プロジェクト

量子中継技術等、量子ネットワークを実現する上で鍵となる基盤技術に関し、ナノ技術を活用した研究開発を実施

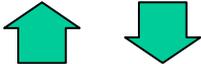
2010年 量子メディア変換技術の実現
2015年 量子メディア変換の量子情報ネットワーク応用

テラヘルツICT

量子情報通信ネットワーク

ナノICT技術基盤の研究

ナノ技術におけるブレークスルー、新材料探索等による新たなICTの可能性を提示



ICTとしての定量的目標を提示

競争的研究資金等により、サブナノ制御、ボトムアップ・トップダウン融合等、ICTに革新をもたらす探索的基礎研究を実施