



ムーンショット型研究開発事業 目標6

「2050年までに、経済・産業・安全保障を飛躍的に発展させる誤り耐性型汎用量子コンピュータを実現」

キックオフシンポジウム 2021年3月11日午前

量子計算網構築のための量子インターフェース開発

PM：小坂英男

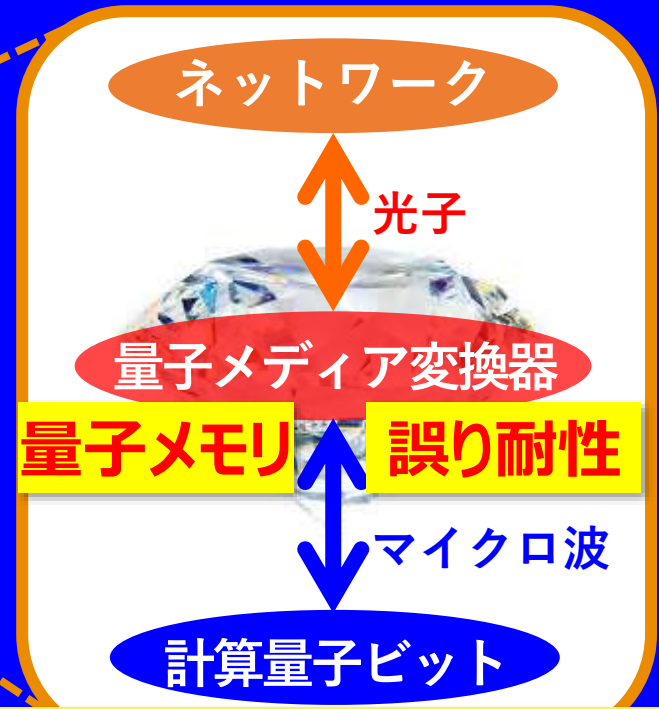
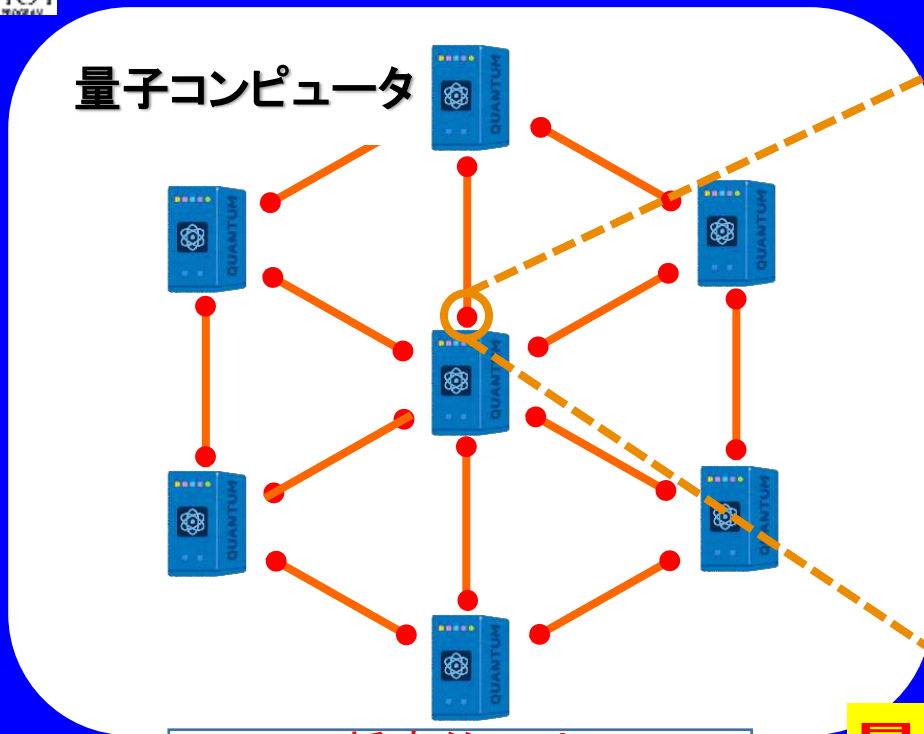
横浜国立大学 教授, 先端科学高等研究院 量子情報研究センター長



代表機関 : 横浜国立大学
PM支援組織 : 横浜国立大学 先端科学高等研究院 (IAS)
連携機関 : 東京大学、横浜国立大学、
産業技術総合研究所、物質・材料研究機構、
量子科学技術研究開発機構、情報通信研究機構 他

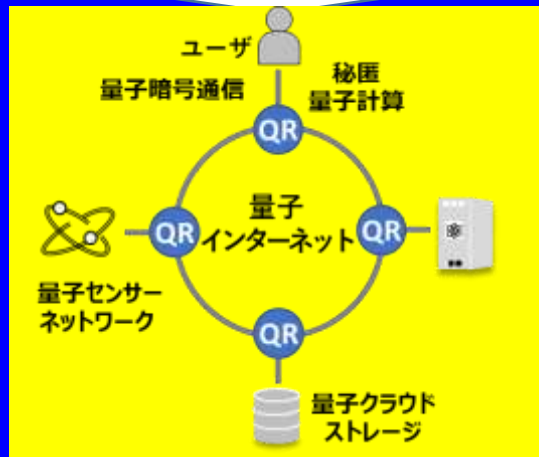


量子コンピュータを光でネットワーク接続し大規模化



将来的には
量子インターネットに接続

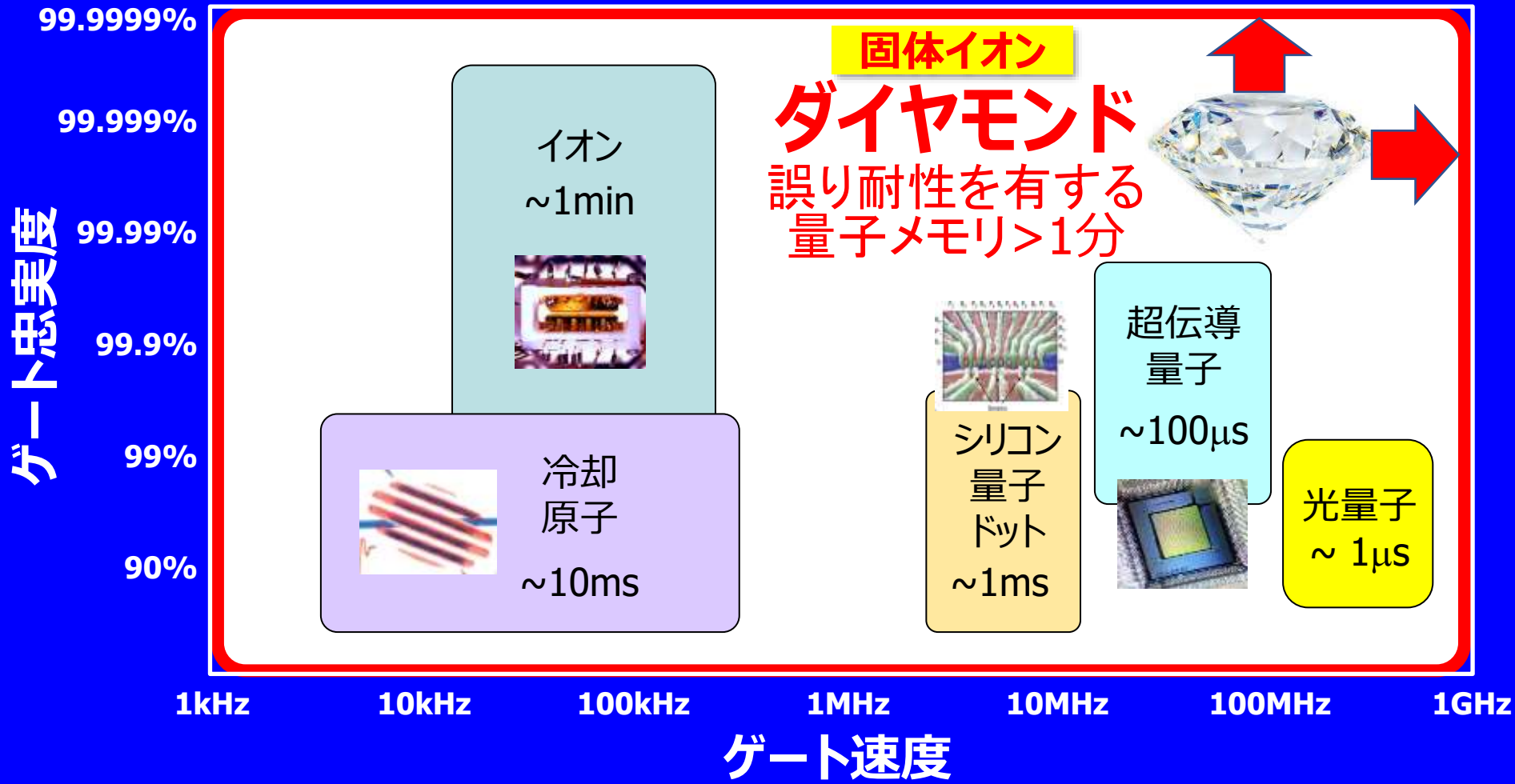
量子テレポーテーションを原理とする



まずは超伝導量子を接続 ⇒ 他の量子に拡張

量子コンピュータ用量子ビットの候補

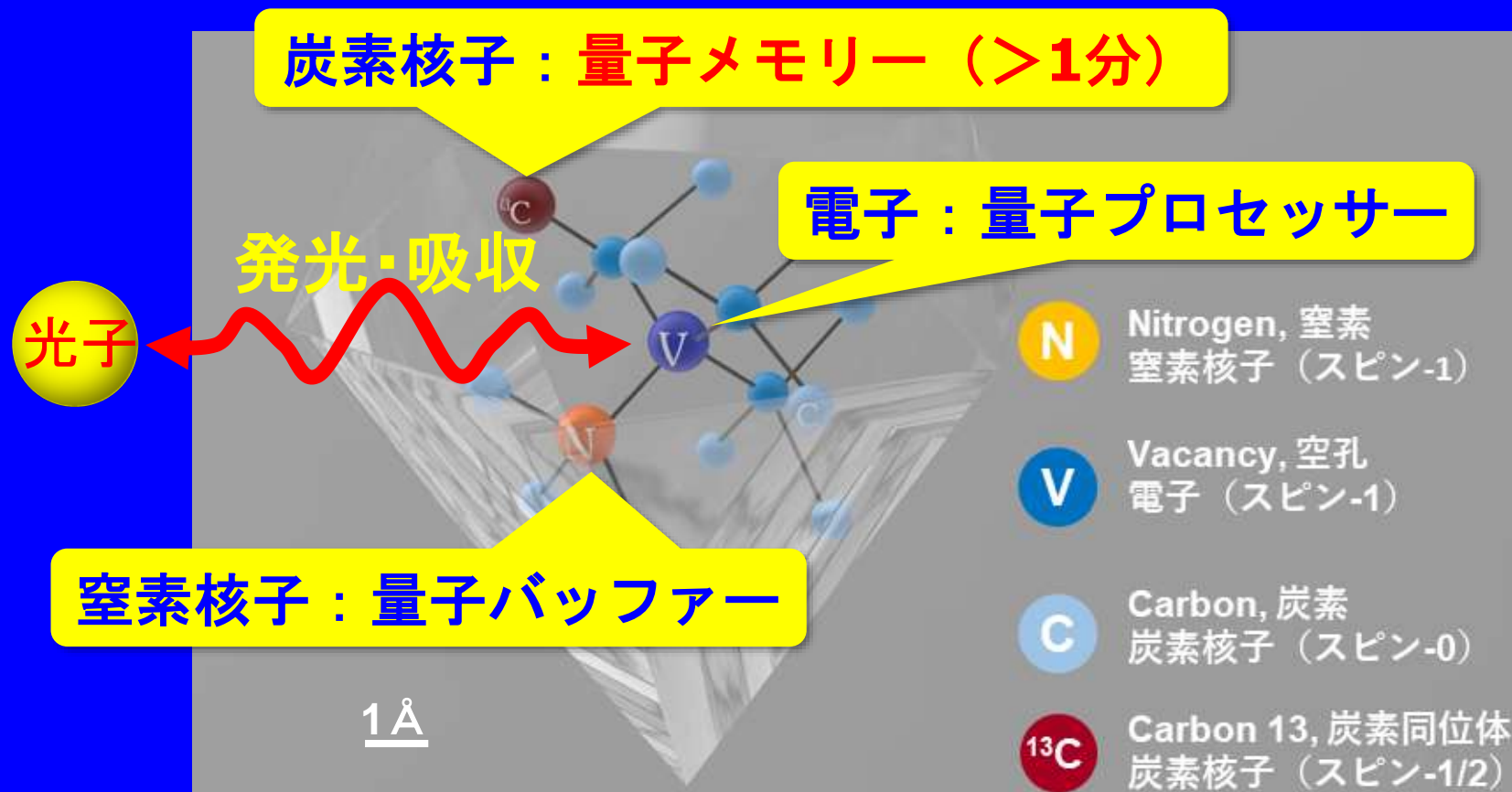
ダイヤモンドは他の計算用量子に負けない演算能力・記憶能力をもつ



誤り耐性量子メディア変換で量子コンピュータの性能を飛躍的に向上

ダイヤモンド 単一NV中心 量子インターフェース

NV中心周囲の無数の炭素同位体 (^{13}C) 核子を量子メモリとして利用



ダイヤモンドは超小型量子コンピュータ・量子センサー

量子インターフェースの機能と要求性能

① 量子操作

② もつれ生成

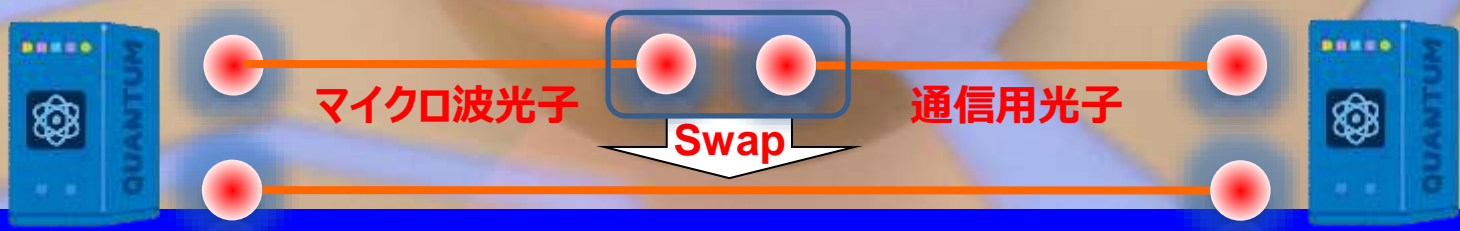
③ 状態転写

④ 完全ベル測定

⑤ 量子誤り訂正

⑥ 集積メモリ

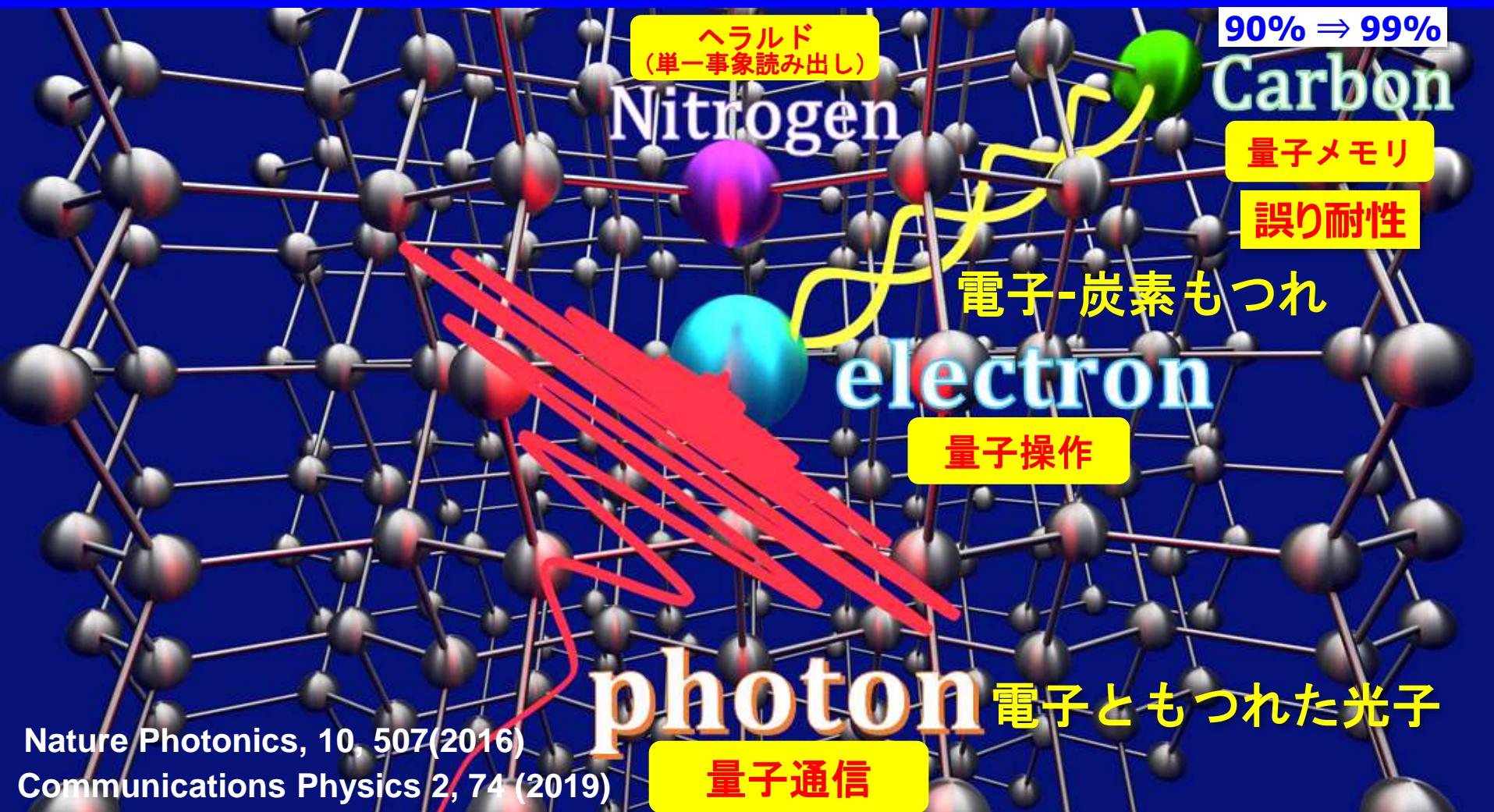
機能	実績	要求性能
① 量子操作忠実度	~ 99.6%	> 99.9%
量子操作時間	~ 5ns	~ 1ns
量子メモリ保持時間	~ 1秒	~ 1分
単一事象読み出し	~ 99.7%	> 99.9%
② 電子-光子もつれ生成	~ 90%	> 99%
③ 光子から量子メモリへの状態転写	~ 90%	> 99%
④ 量子もつれ測定 (完全ベル測定)	~ 85%	> 99%
⑤ 量子誤り訂正⇒誤り耐性符号	~ 80%	> 99%
⑥ 量子メモリ数 (個別アクセス)	~ 10個	> 1000個



ダイヤモンド量子メモリ間のもつれ測定 ⇒ 計算量子ビット間のもつれ生成 (量子テレポーテーション)

量子テレポーテーション転写

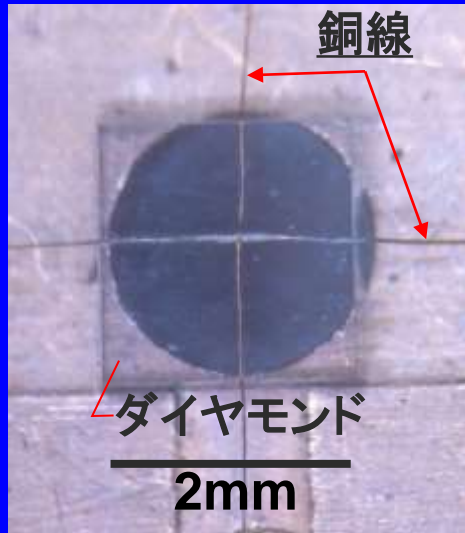
光子から炭素核子へ量子状態を転写し保存



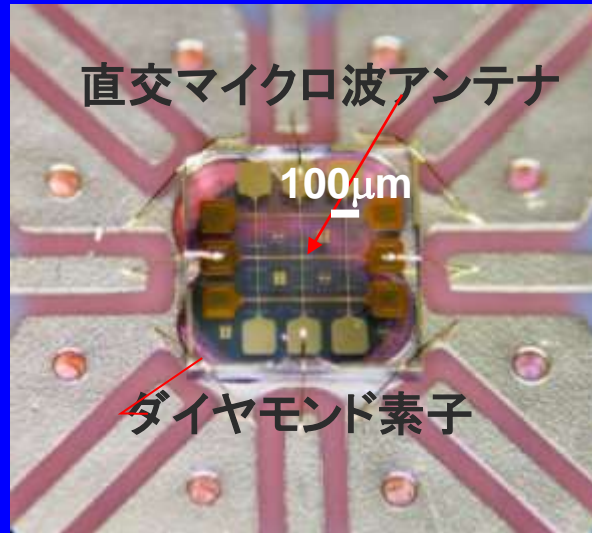
超伝導量子ともつれたマイクロ波光子からメモリへ転写も同様に可能 6

ダイヤモンドナノテクノロジー

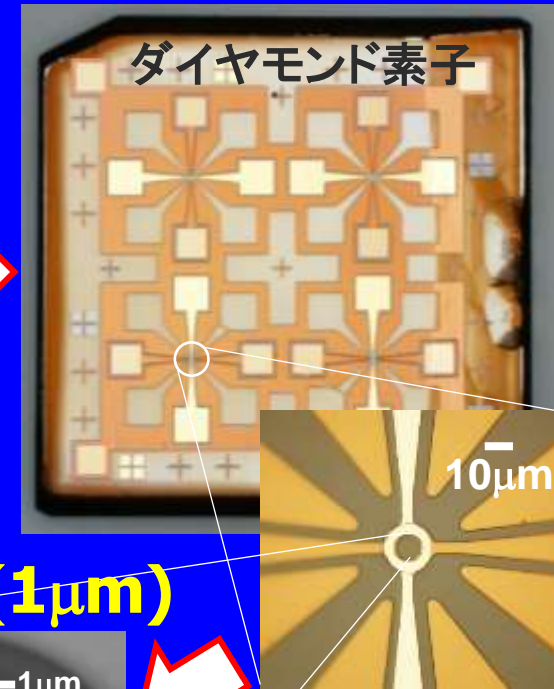
第0世代(1mm)



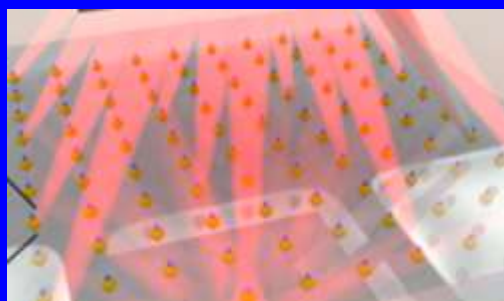
第1世代(100 μ m)



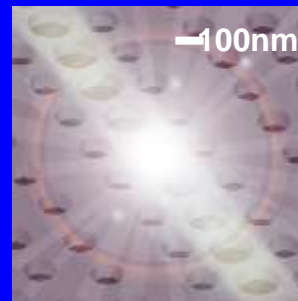
第2世代(10 μ m)



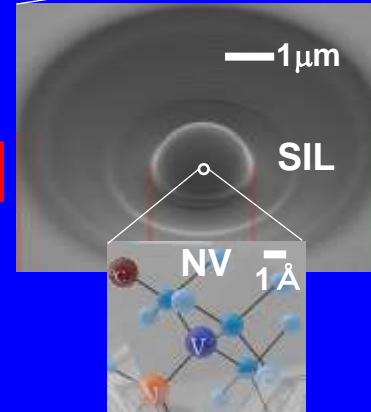
第5世代(Q-RAM) 第4世代(100nm) 第3世代(1 μ m)



大規模集積 1K~1M
光ランダムアクセス



ダイヤモンド
フォトリソニック結晶



- 高速化
- 高忠実度化
- 高集積化

ダイヤモンドフォトリソニック結晶で量子接続能力を飛躍的に向上!

磁場や集団スピンを使う従来方式では感度限界がある！

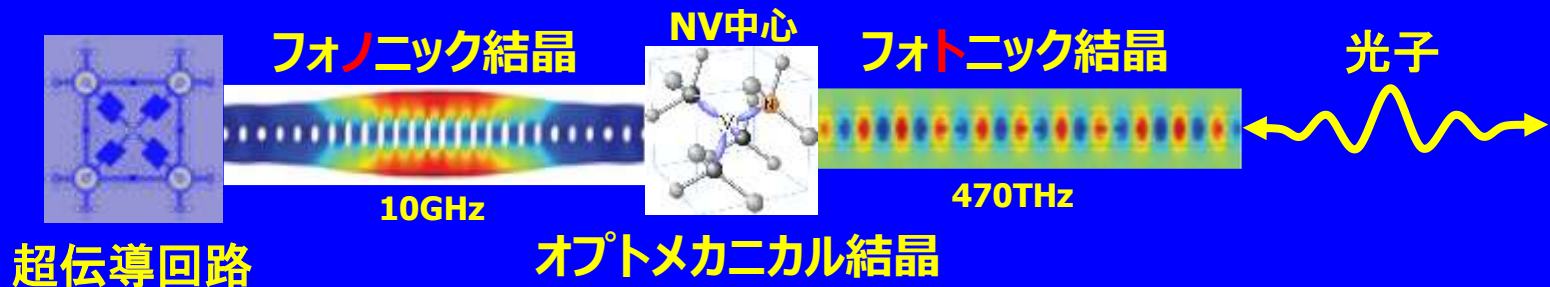
変換の自由度

従来
結合が弱い

磁場 (マイクロ波)
磁性体 (中村ERATO)
機械振動 (中村ERATO)

今回
結合が強い

電場 (電荷) スピン軌道結合
音場 (音子) 共振器増強



超伝導量子-ダイヤモンドインターフェースの世界状況

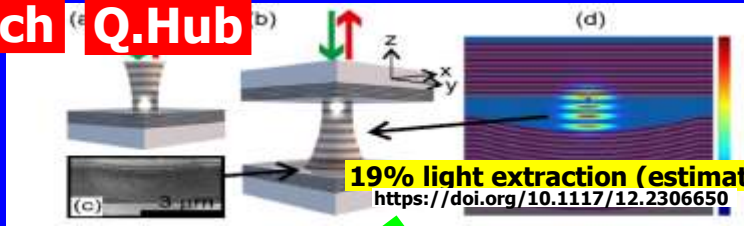
日本が主導する超伝導回路技術、ダイヤモンド材料技術、集積フォトニクス技術を融合

Delft, Oxford ファブリペロー共振器+NV

Harvard フォトニック結晶+SiV

QuTech Q.Hub

Quantum Initiative



19% light extraction (estimate)
<https://doi.org/10.1117/12.2306650>

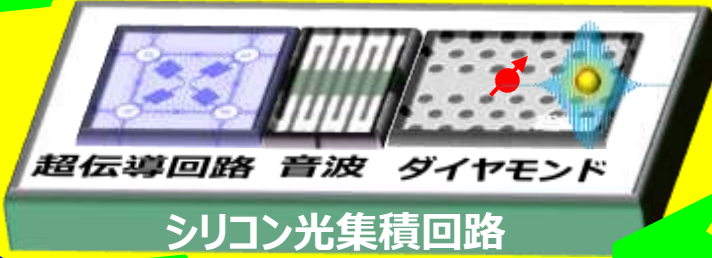
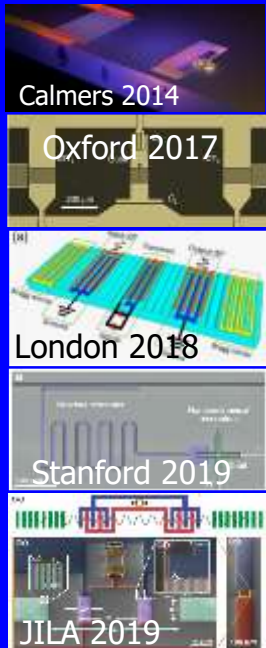
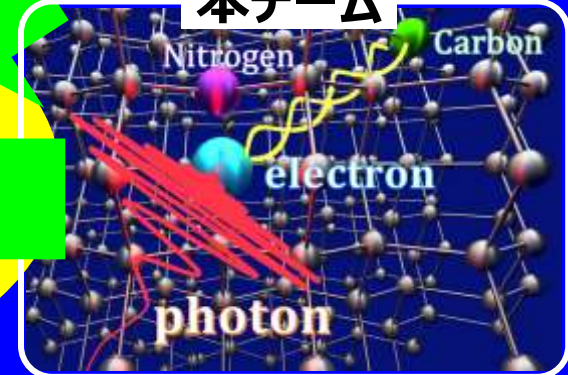


超伝導 - 音子変換

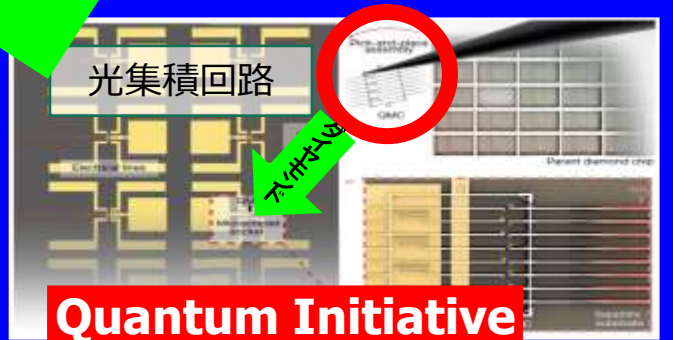


ハイブリッド量子集積素子

本チーム



マイクロ波 - 光子 変換



光集積回路

Quantum Initiative 11, 1166 (2020)

Quantum Initiative

Stanford, Caltech オプトメカニカル結晶

MIT 量子マイクロチップ

磁場や集団スピンを使う従来方式では感度限界がある!

研究開発体制

PM 小坂英男

(横浜国大 教授・IAS 量子情報研究センター長)



代表機関：横浜国立大学



PM支援組織：先端科学高等研究院(IAS)他

▶ 技術補佐、知財プロデューサー、アウトリーチ担当 etc

33名の日本最強のナノテク集団が結集!

ダイヤモンド量子メモリ

- ▶ **小坂 英男** (横浜国大)
ダイヤモンド量子メモリの研究開発
- ▶ **加藤 宙光・牧野 俊晴** (産総研)
ダイヤモンド量子構造の研究開発
- ▶ **寺地 徳之** (物材機構)
ダイヤモンド量子結晶の研究開発
- ▶ **小野田 忍** (量研機構)
ダイヤモンド色中心の研究開発



参加者:

- ▶ 関口 雄平 (横国)
- ▶ 黒川 穂高 (横国)
- ▶ 河野 克典 (横国)
- ▶ 牧野 俊晴 (産総研)
- ▶ 児島 一聡 (産総研)
- ▶ 沈 旭強 (産総研)
- ▶ 小倉 政彦 (産総研)
- ▶ 加藤 有香子 (産総研)
- ▶ 吉岡 裕典 (産総研)
- ▶ 升本 恵子 (産総研)



オプトメカニカル共振器

- ▶ **岩本 敏** (東大)
フォトニック結晶光共振器の研究開発
- ▶ **馬場 俊彦** (横浜国大)
フォトニック光共振器実装技術開発
- ▶ **野村 政宏** (東大)
フォノニック結晶音共振器の研究開発



参加者:

- ▶ 太田 泰友 (東大)
- ▶ 渡辺 宜朗 (東大)
- ▶ 西岡 政雄 (東大)
- ▶ 石田 悟己 (東大)
- ▶ 羽中田 祥司 (横国)
- ▶ 玉貫 岳正 (横国)



ピエゾマイクロ波共振器

- ▶ **小坂 英男** (横浜国大)
ピエゾマイクロ波共振器の研究開発
- ▶ **吉川 信行** (横浜国大)
量子制御電子集積回路の研究開発



参加者:

- ▶ 佐々木 遼 (理研)
- ▶ 寺井 弘高 (NICT)
- ▶ 田辺 克明 (京大)
- ▶ 猪股 邦宏 (産総研)
- ▶ 山梨 裕希 (横国)
- ▶ 竹内 尚輝 (横国)
- ▶ **Ayala Christopher** (横国)
- ▶ 陳 オリビア (横国)
- ▶ 何 魚行 (横国)
- ▶ 関口 雄平 (横国)
- ▶ 黒川 穂高 (横国)



企業・大学・研究機関 (密接な協業による早期PoCの実現へ向けて)

NEC、東芝、古河電工、NTT AT、NTT Electronics、オプトクエスト、SII、メルカリ、住友電工、浜松ホトニクス

中村ERATO + QLEAP、山本剛MSと密接に連携

まとめ：量子コンピュータを光でネットワーク接続

ダイヤモンドは超小型量子コンピュータ・量子センサー

誤り耐性量子メディア変換で量子コンピュータの性能を飛躍的に向上

無磁場下におけるダイヤモンド量子メモリの量子操作・保持・読み出し

機能	実績	要求性能
① 量子操作忠実度	~ 99.6%	> 99.9%
量子操作時間	~ 5ns	~ 1ns
量子メモリ保持時間	~ 1秒	~ 1分
単一事象読み出し	~ 99.7%	> 99.9%
② 電子-光子もつれ生成	~ 90%	> 99%
③ 光子から量子メモリへの状態転写	~ 90%	> 99%
④ 量子もつれ測定（完全ベル測定）	~ 85%	> 99%
⑤ 量子誤り訂正⇒誤り耐性符号	~ 80%	> 99%
⑥ 量子メモリ数（個別アクセス）	~ 10個	> 1000個



磁場や集団スピンを使う従来方式では感度限界がある！

日本が主導する超伝導回路技術、ダイヤモンド材料技術、集積フォトニクス技術を融合