

光子間の高効率固体量子位相 ゲート素子の実現に関する研究

2006年4月～2011年3月

北海道大学 電子科学研究所

竹内繁樹

笹木 敬司 藤原 英樹 岡本 亮 藤原 正澄

高島 秀聡 趙 洪泉

共同研究者

大阪府立大学

広島大学

英国ブリストル大学

独国フンボルト大学

高橋 雅英

ホフマン・ホルガ

オ布莱アン・ジェレミ

ベンソン・オリバー

教授

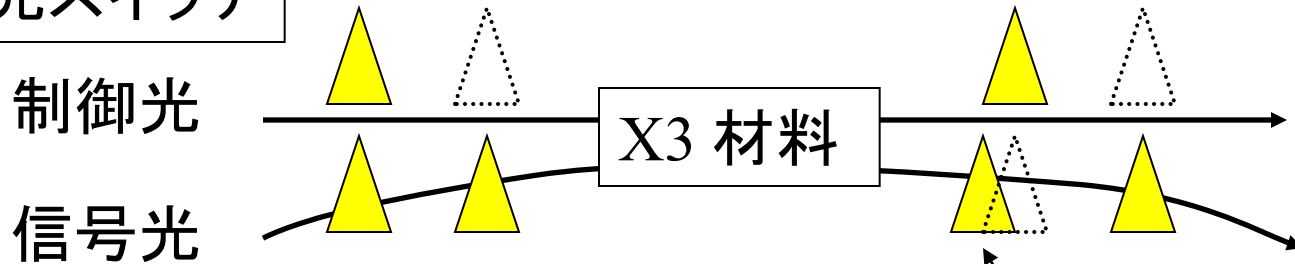
准教授

教授

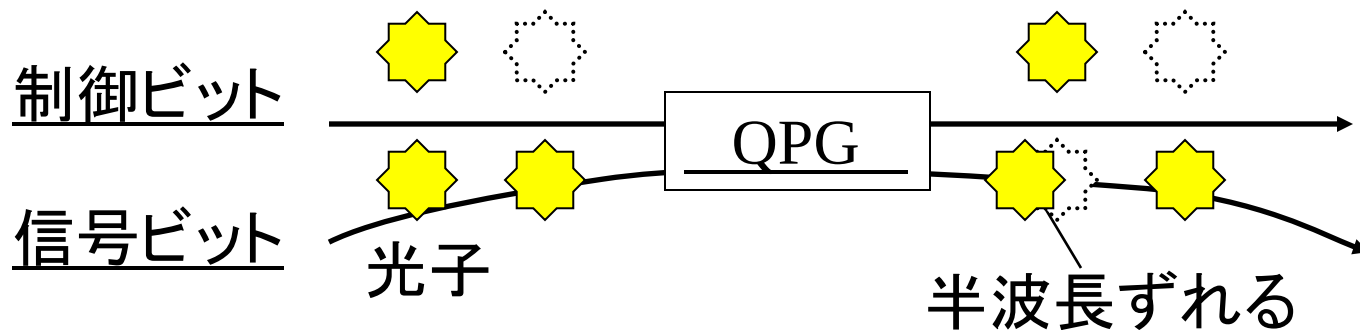
教授

ブレイクスルーをもたらす量子位相ゲート

光-光スイッチ

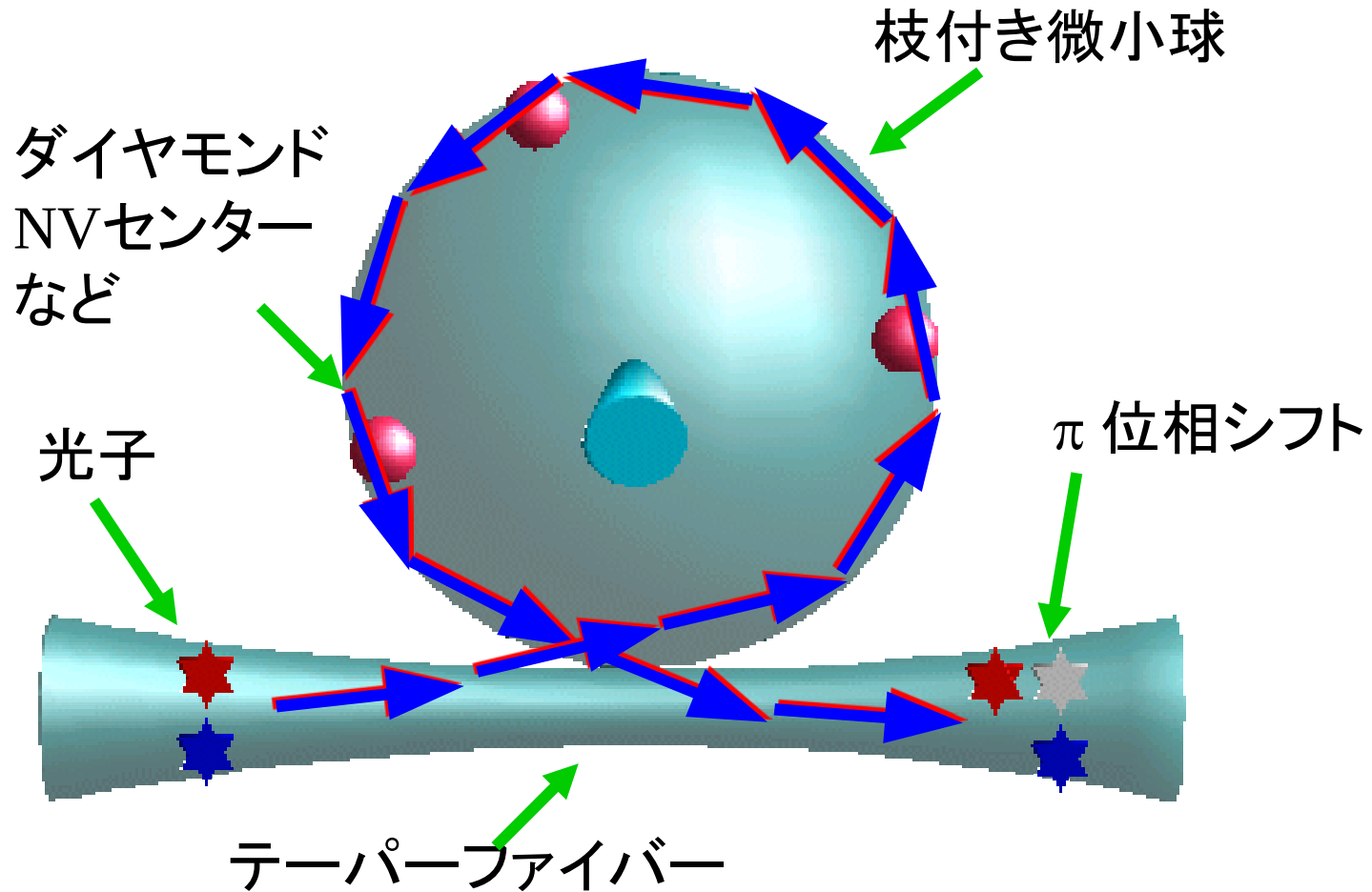


量子位相ゲート(Quantum Phase Gate)



$|0\rangle + |1\rangle$ の重ね合わせ状態にも適用できる

微小球共振器を用いた量子 位相ゲート



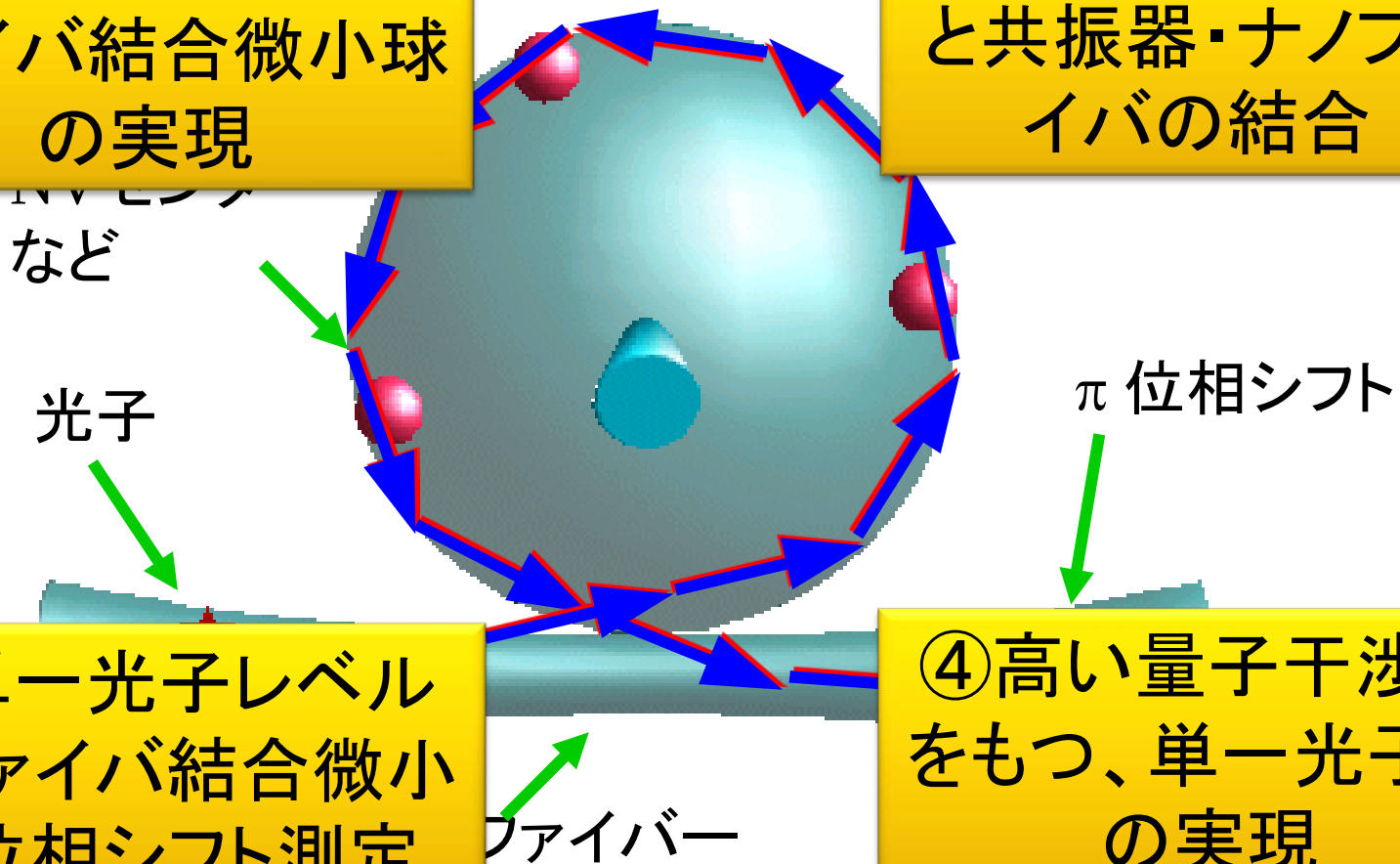
微小球共振器を用いた量子 位相ゲート

①極低温下での
ファイバ結合微小球
の実現

③単一発光体
と共振器・ナノファ
イバの結合

②単一光子レベル
のファイバ結合微小
球位相シフト測定

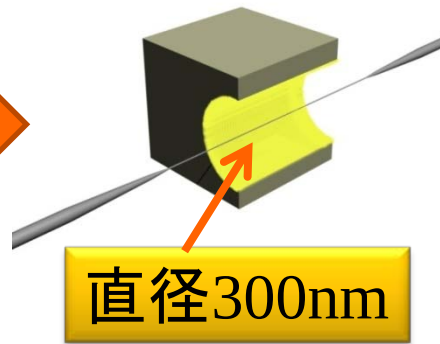
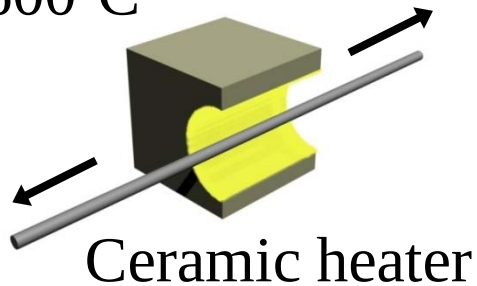
④高い量子干渉性
をもつ、単一光子源
の実現



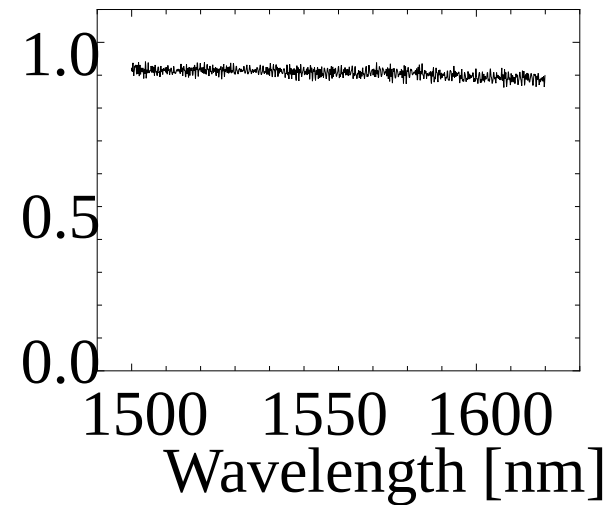
極細テーパー光ファイバの実現

Tapered optical fiber fabrication

$<1600^{\circ}\text{C}$

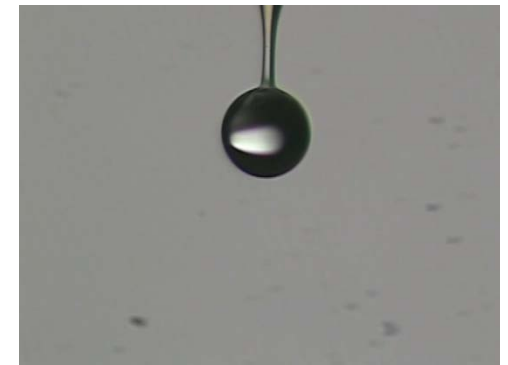
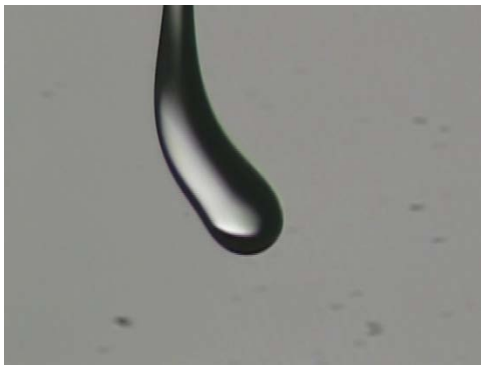


Transmittance

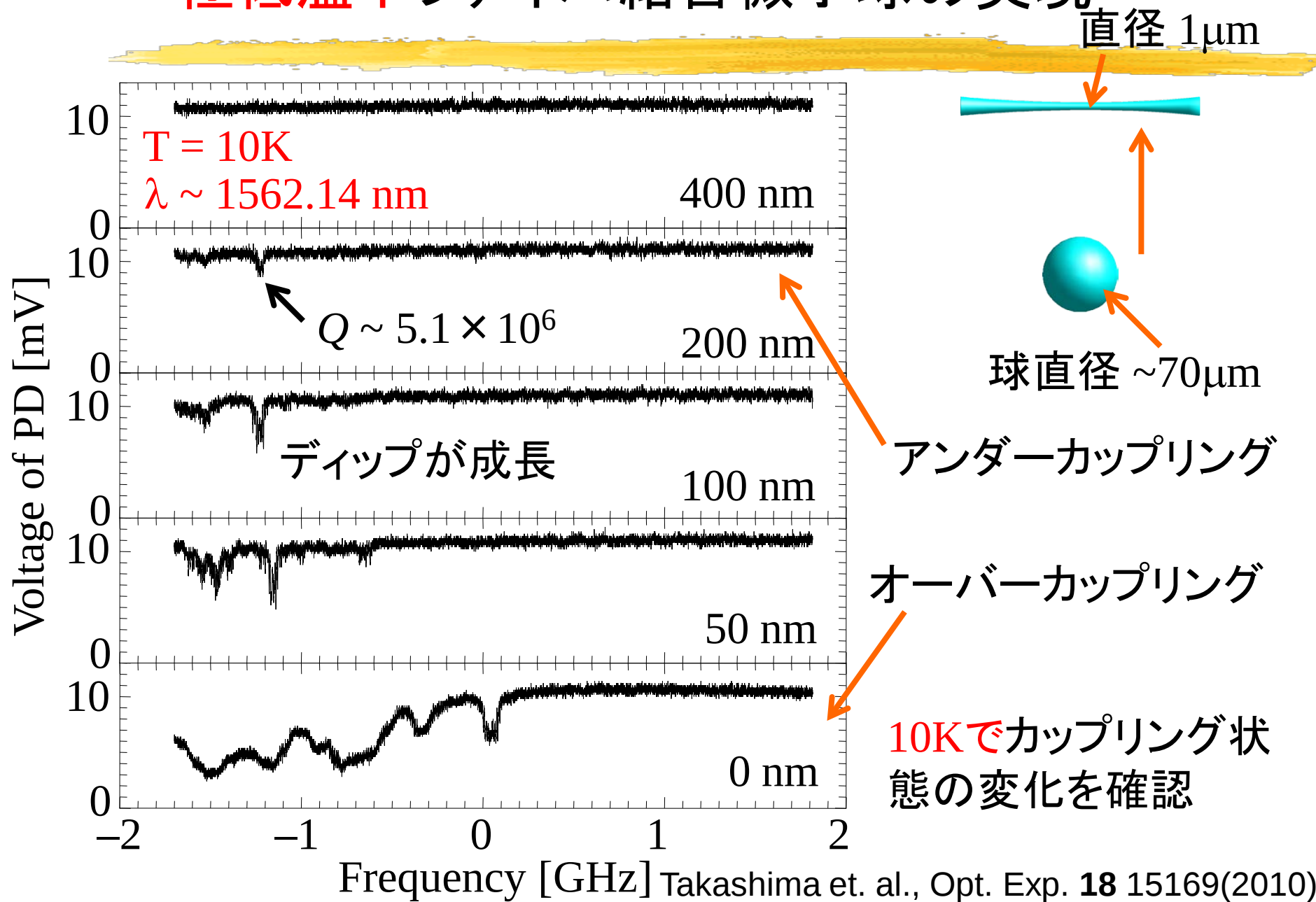


Microsphere resonator

CO₂ laser irradiation



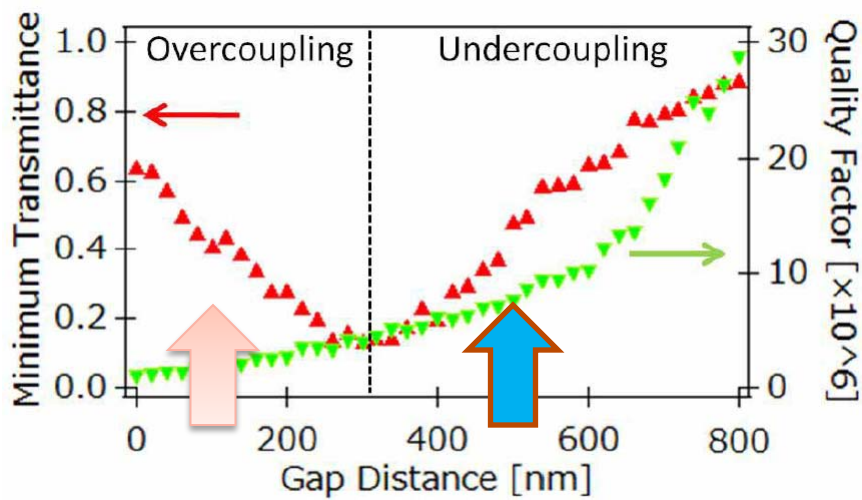
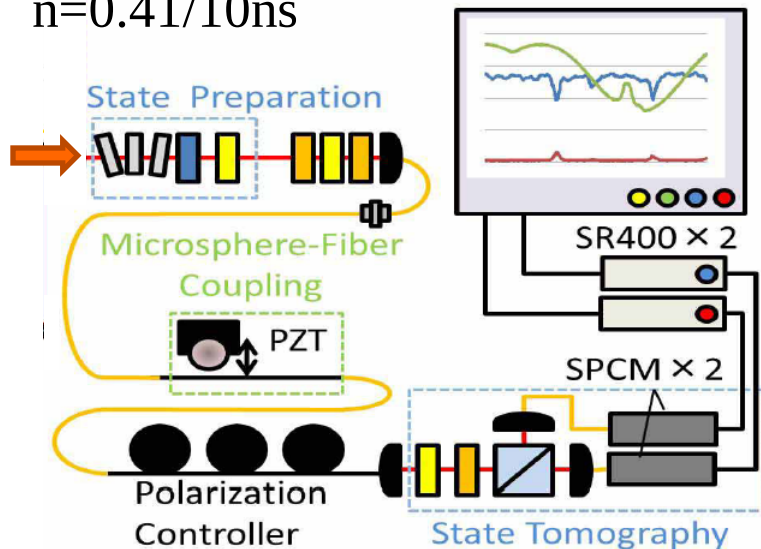
極低温下ファイバ結合微小球の実現



ファイバ結合微小球位の、単一光子レベルでの位相シフト測定

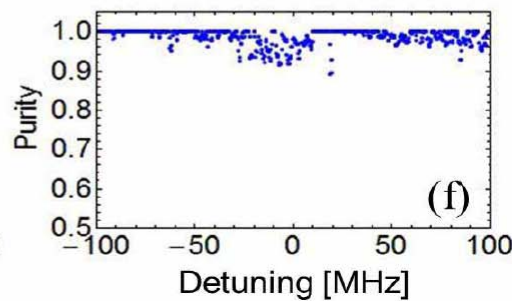
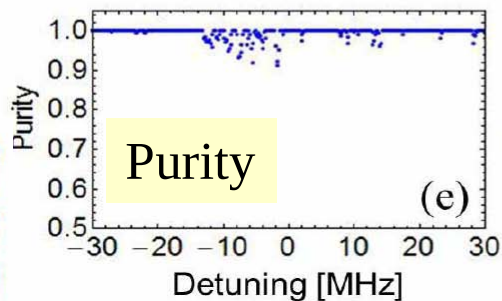
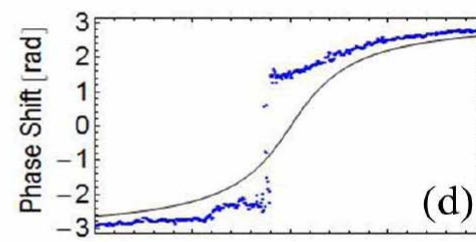
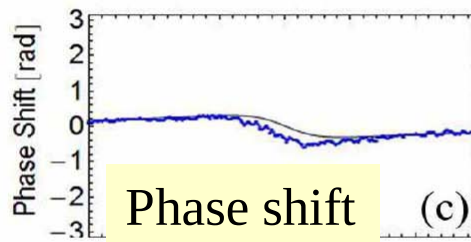
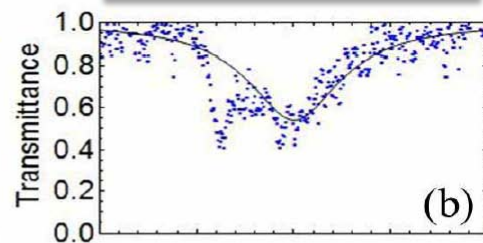
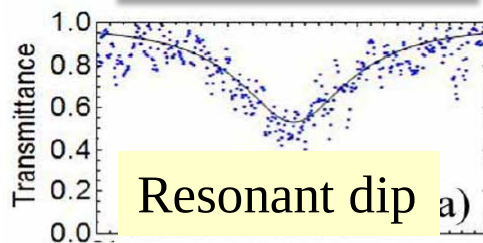
Tanaka, et. al., Opt. Exp 19, 2278 (2011).

Faint probe light
 $n=0.41/10\text{ns}$



Under coupling

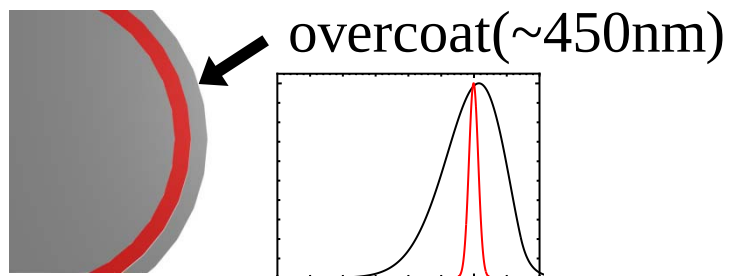
Over coupling



純粋度(purity) は、平均0.98、
最小でも0.89であり、量子位相
シフトゲートに十分応用可能。

シリカ微小球と、希土類イオンの結合効率実測に成功

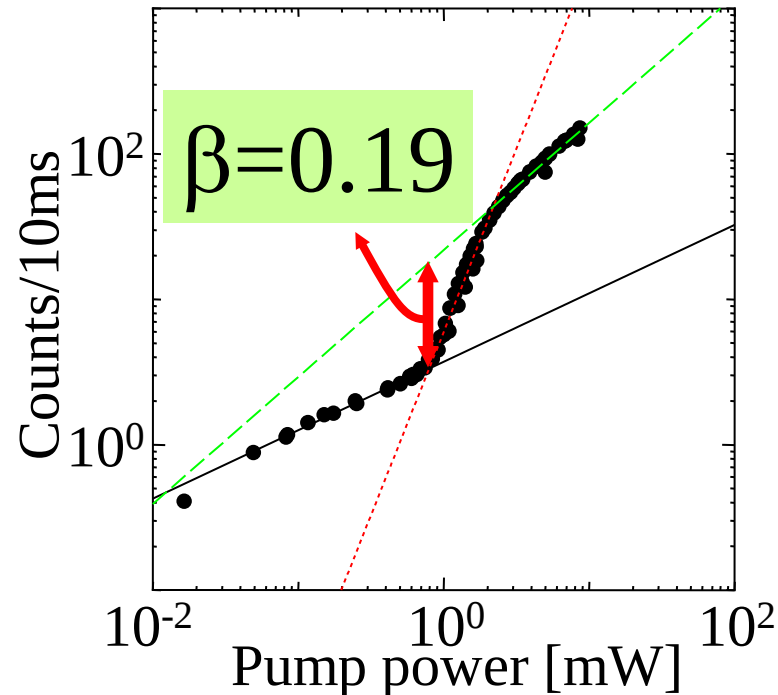
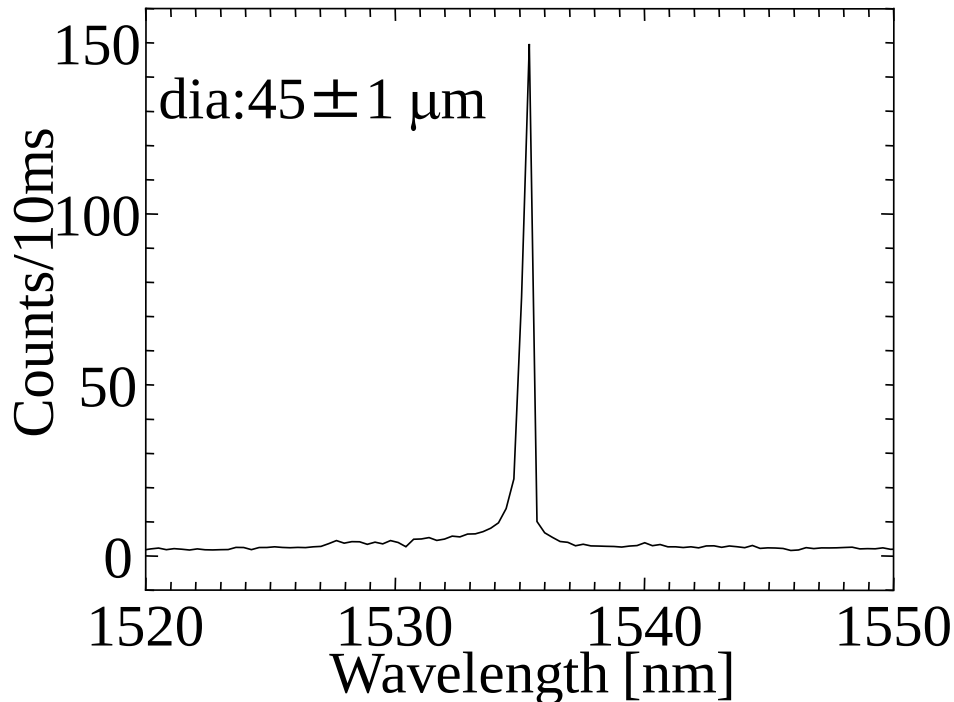
Takashima et. al., Appl. Phys. Lett. **92**, 7, 07115 (2008)



コーピングにより、高分散希土類イオン
微小球レーザーを実現

Takashima, Fujiwara, Takeuchi, Sasaki, Takahashi,
Appl. Phys. Lett., **90**,1,101103 (2007)

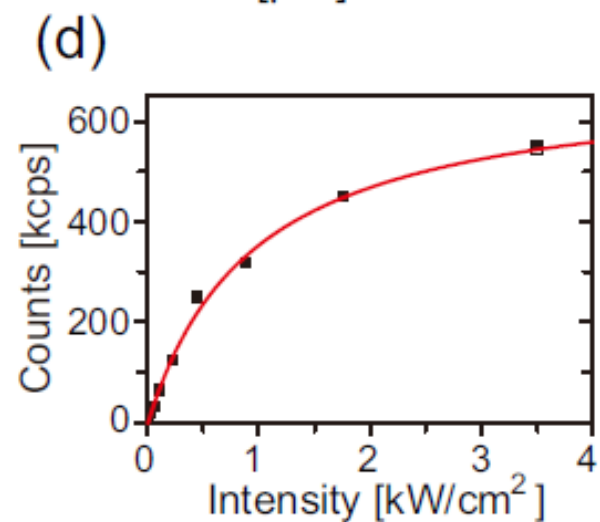
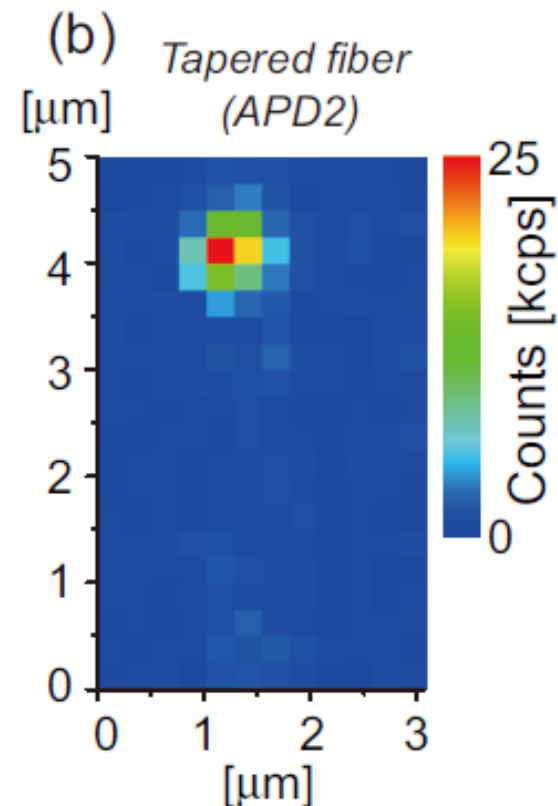
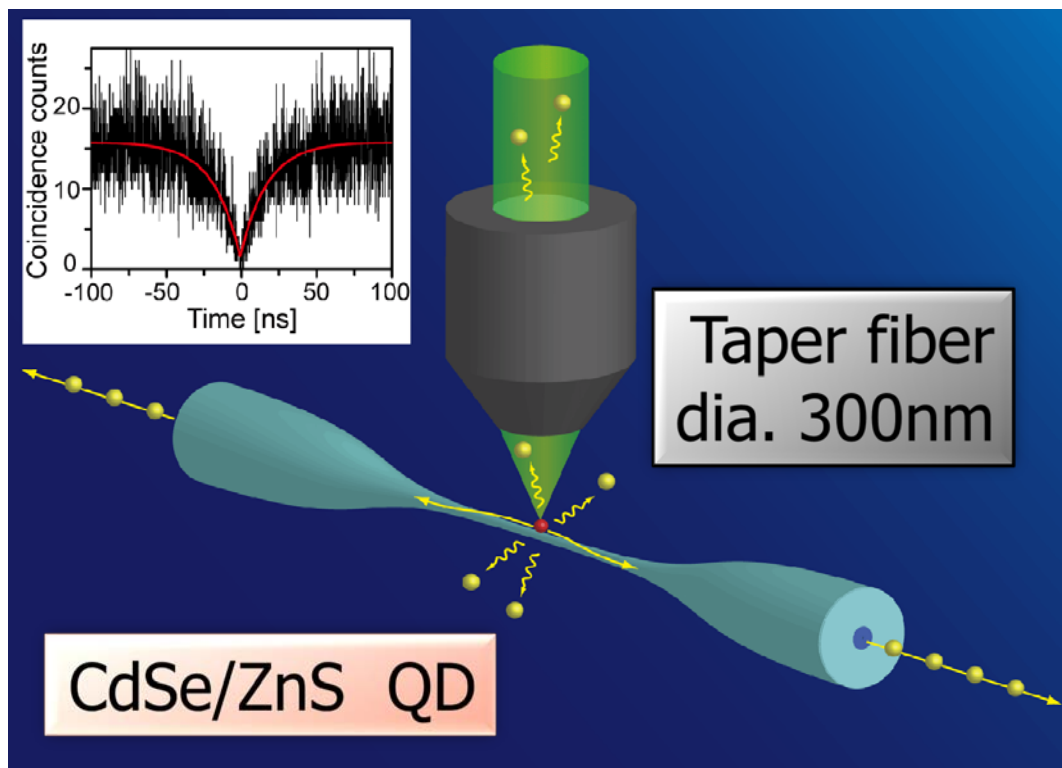
19%以上の発光結合を確認



テーパー光ファイバ単一光子源

量子ドットからの単一光子の7.4%が
単一モード光ファイバに結合

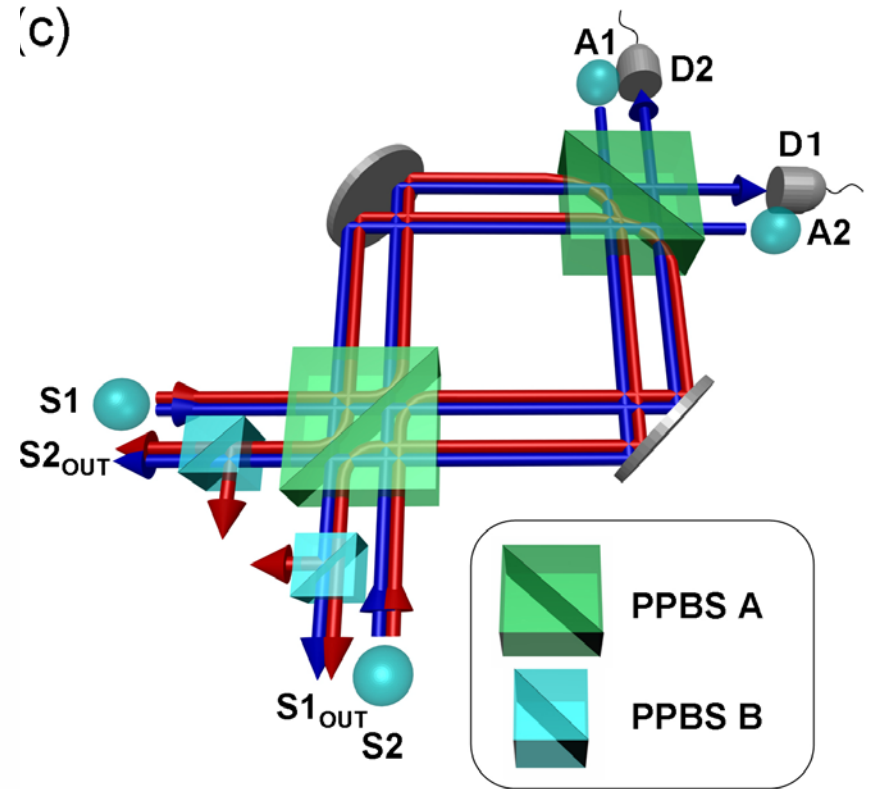
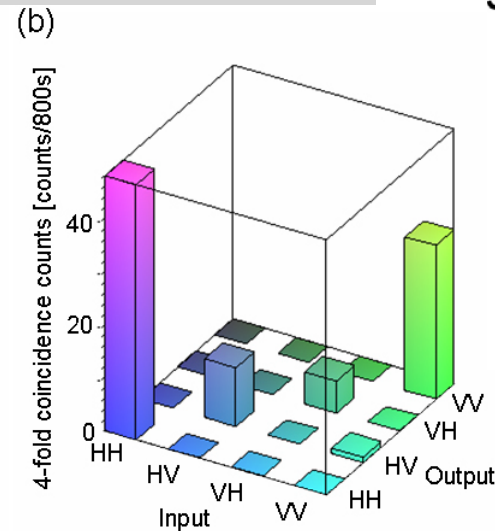
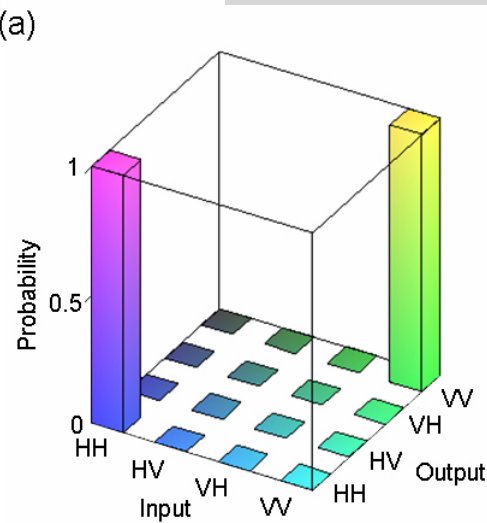
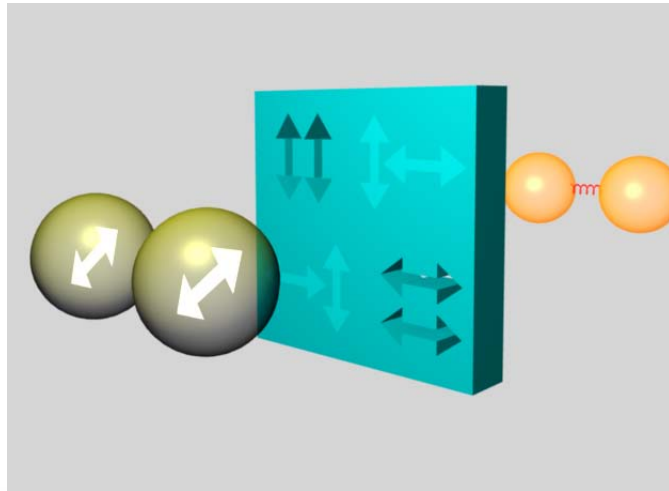
フォトンと人工原子の高効率結合も可



pump power (@543nm)

Fujiwara, Toubaru, Noda, Zhao, Takeuchi,
Nano Letters, published online(2011)

良質な2光子干渉をもつ単一光子源と 光量子回路(量子もつれフィルタ)への応用



Okamoto, O'Brien, Hofmann, Nagata, Sasaki, Takeuchi, **Science** **323** (2009) 483.

他にも、4光子の経路もつれ合い干渉計の実現 (Science, **316**, 726 (2007)), 実効的な巨大非線形素子を結合した量子回路 (PNAS **108**, 10067 (2011).)など

まとめ

光子間の高効率固体量子位相ゲートの実現に
関して、次の成果を得た

- 極低温下で微小球とテーパファイバの結合に成功、高いQ値と低損失の固体微小共振器を実現
- ファイバ結合微小球の単一光子レベルでの位相シフトスペクトルの取得に成功。
- 単一発光体を、微小球共振器・ナノ光ファイバと融合、高い結合効率を確認。
- 高い2光子干渉性をもつ光子源を実現、光量子回路へと応用。
- 査読付き論文 23件 (2011.3月迄の集計)
 - (Science 2、Phys. Rev. Lett. 1、Opt. Exp. 5、Appl. Phys. Lett. 3)
- 口頭発表 175件(国際会議招待講演 20件以上)
- 出願特許2件

松岡正浩先生はじめ総務省・関係機関の皆様のご支援に感謝申し上げます。