

# ナノ量子情報研究部門における研究の現状

## 研究推進機構 総合研究院 ナノ量子情報研究部門

吉原文樹<sup>1</sup>, 蔡兆申<sup>2</sup>, 橋爪洋一郎<sup>3</sup>, 佐中薰<sup>1</sup>, Mark Paul Sadgrove<sup>1</sup>, 渡邊昇<sup>4</sup>, 樽茶清悟<sup>5</sup>, 山本剛<sup>6</sup>, 齊藤志郎<sup>7</sup>, 曾根純<sup>8</sup>, 荒川泰彦<sup>9</sup>, 高柳英明<sup>9, 10</sup>, 渡部昌平<sup>11</sup>, Ashhab Sahel<sup>12</sup>

1. 理学部, 2. 総合研究院, 3. 教養教育研究院, 4. 創域理工学部, 5. 理化学研究所, 6. NEC, 7. NTT, 8. JST, 9. 東京大学, 10. 自然科学研究機構, 11. 芝浦工業大学, 12. NICT

### ▶ 研究概要

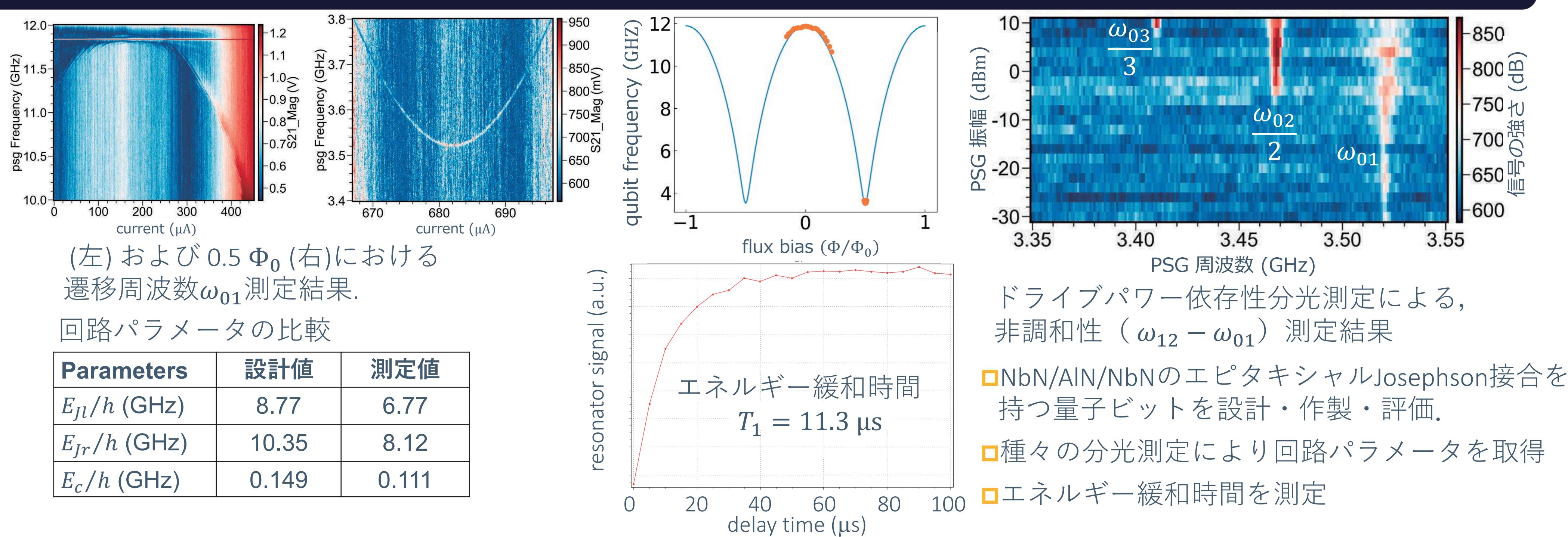
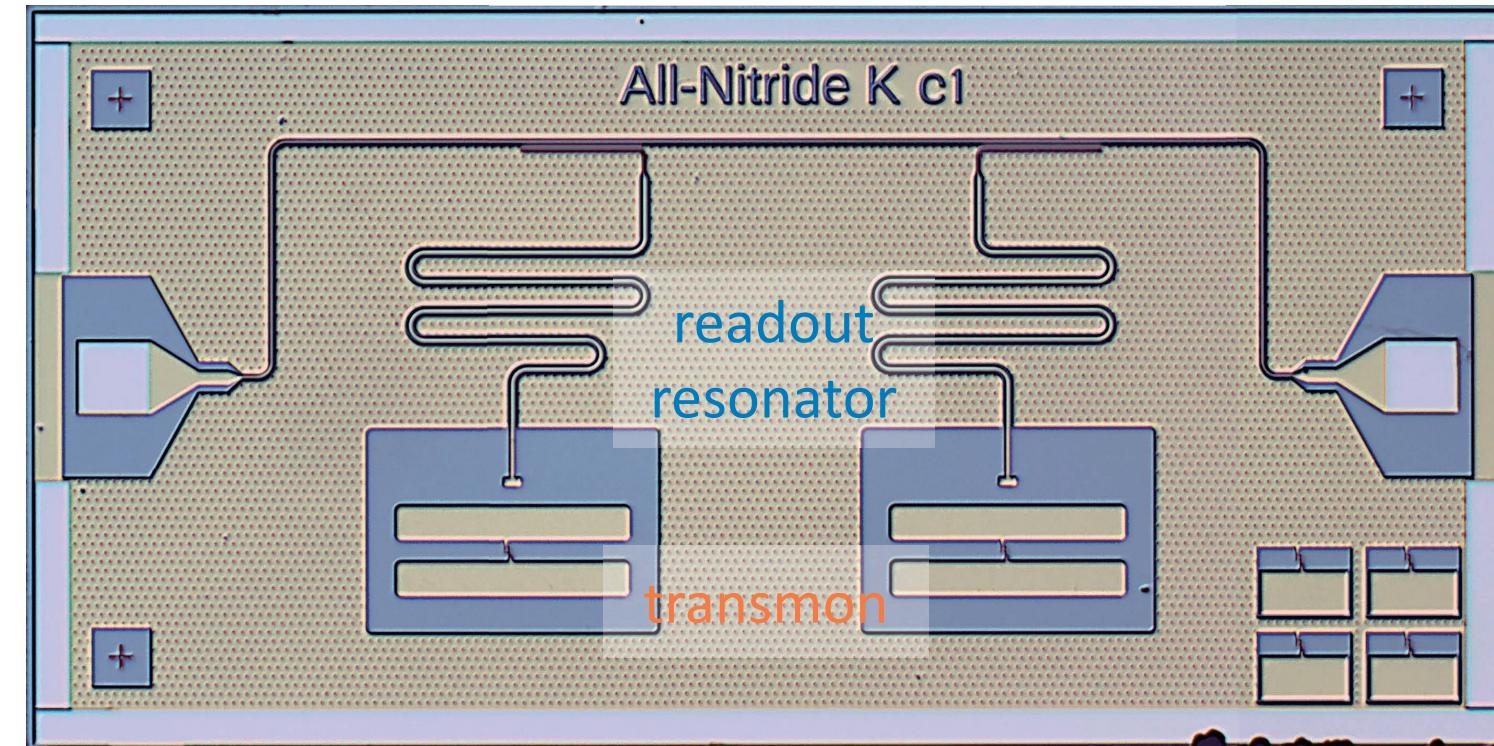
超伝導量子情報グループ：窒化物超伝導体、窒化物絶縁体を用いた超伝導量子ビットの性能評価について述べる。光量子情報グループ：ファイバー内単一希土類原子の選択的励起および単一光子の変更制御について述べる。量子情報理論グループ：擬フィッシャー計量を用いた確率過程の時間発展を統一的に記述可能な手法について述べる。

### ▶ 直近のトピック

#### 超伝導量子情報

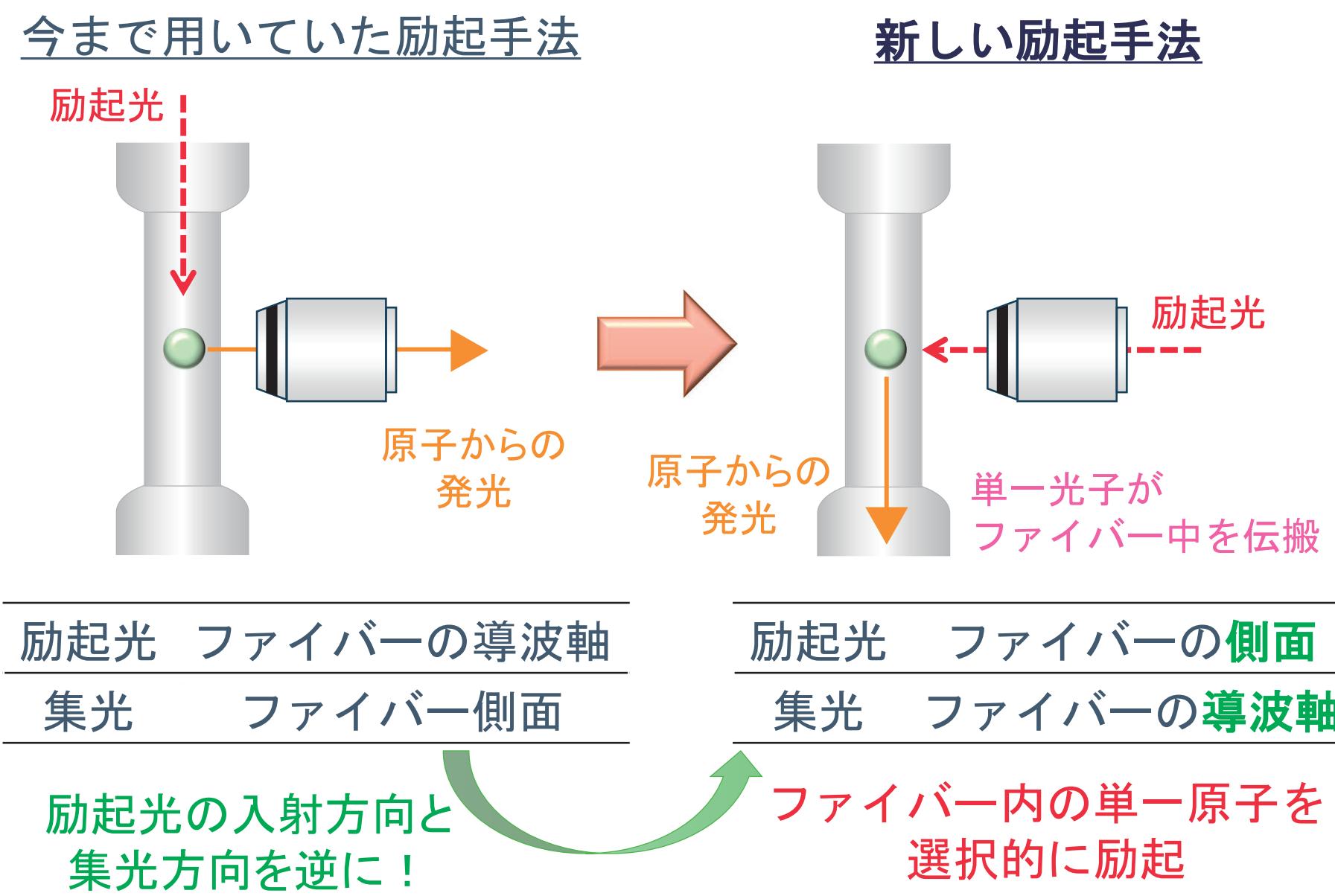
2.5 mm × 5.0 mm Si上での非対称SQUID付  
周波数可変transmon量子ビット

TiNバッファ層上にNbN/AlN/NbNの  
エピタキシャルJosephson接合を作製

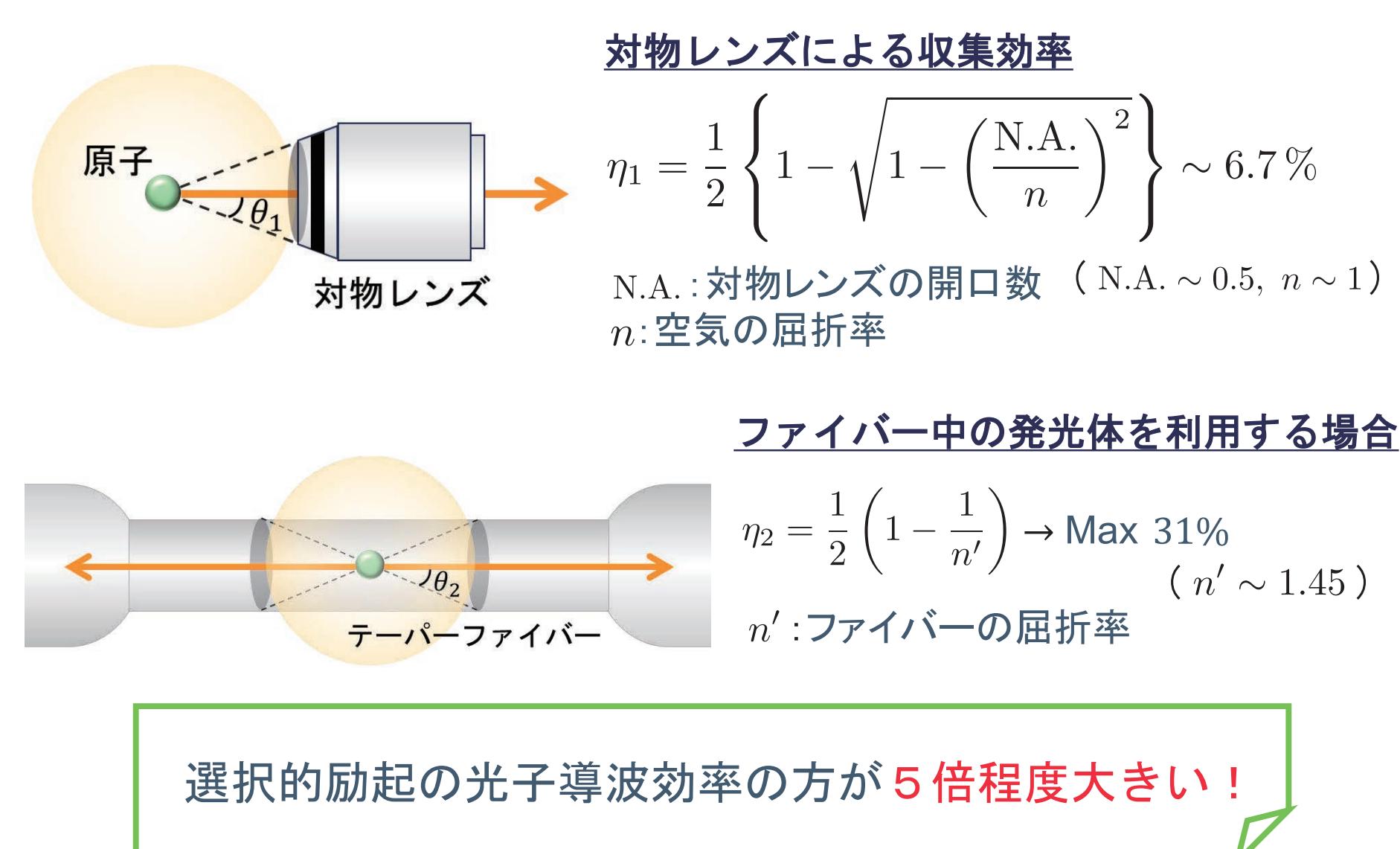


#### 光量子情報

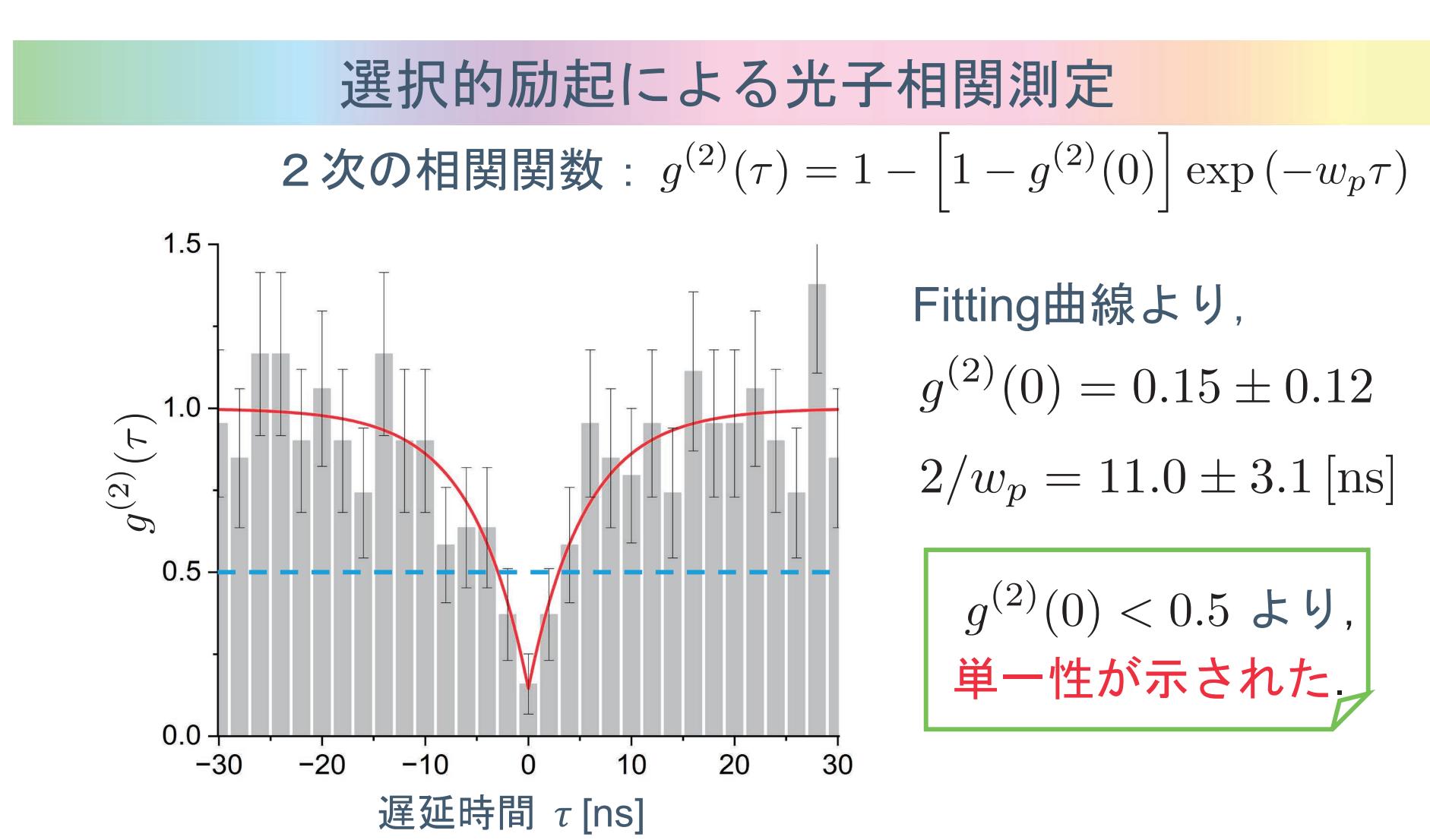
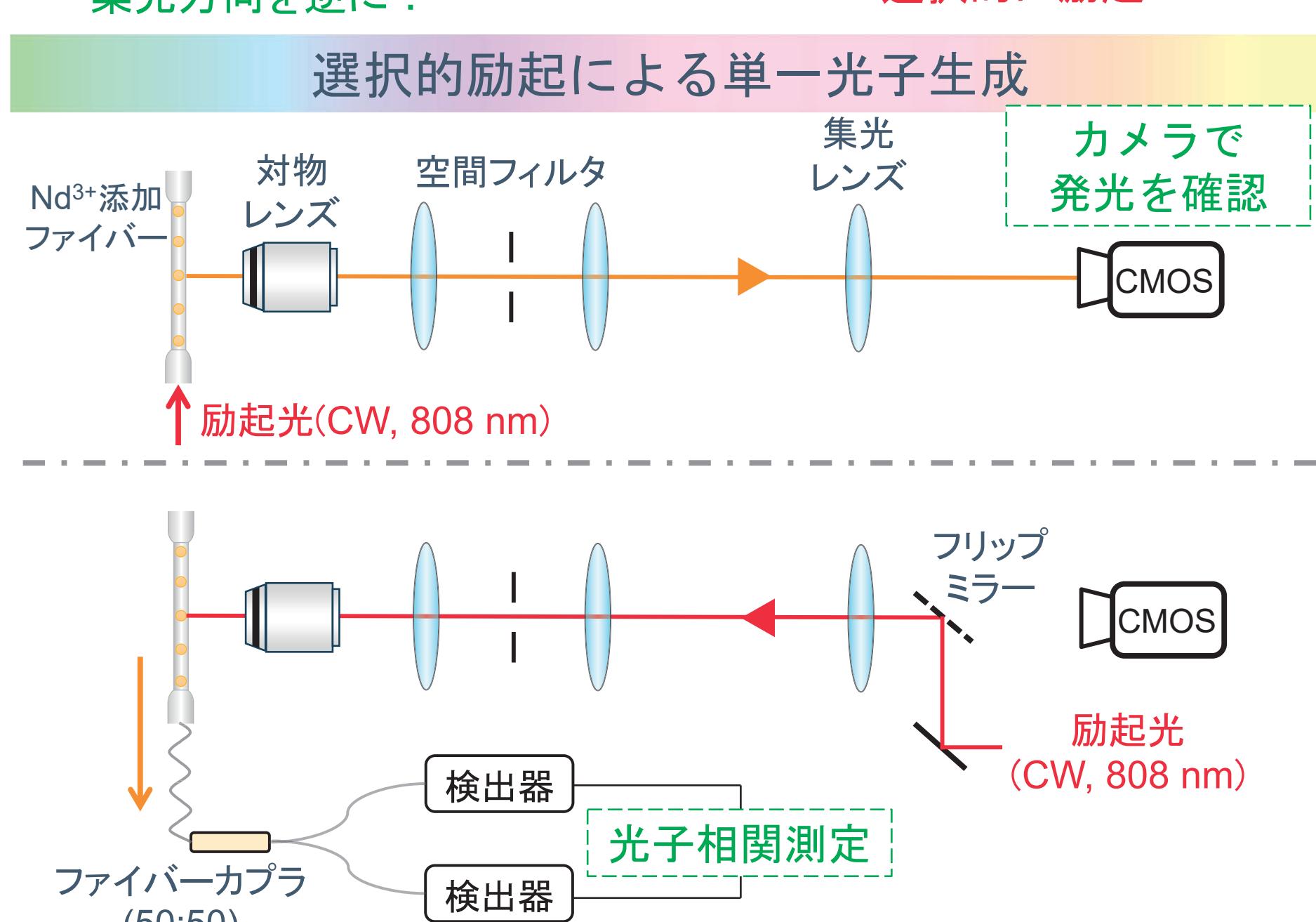
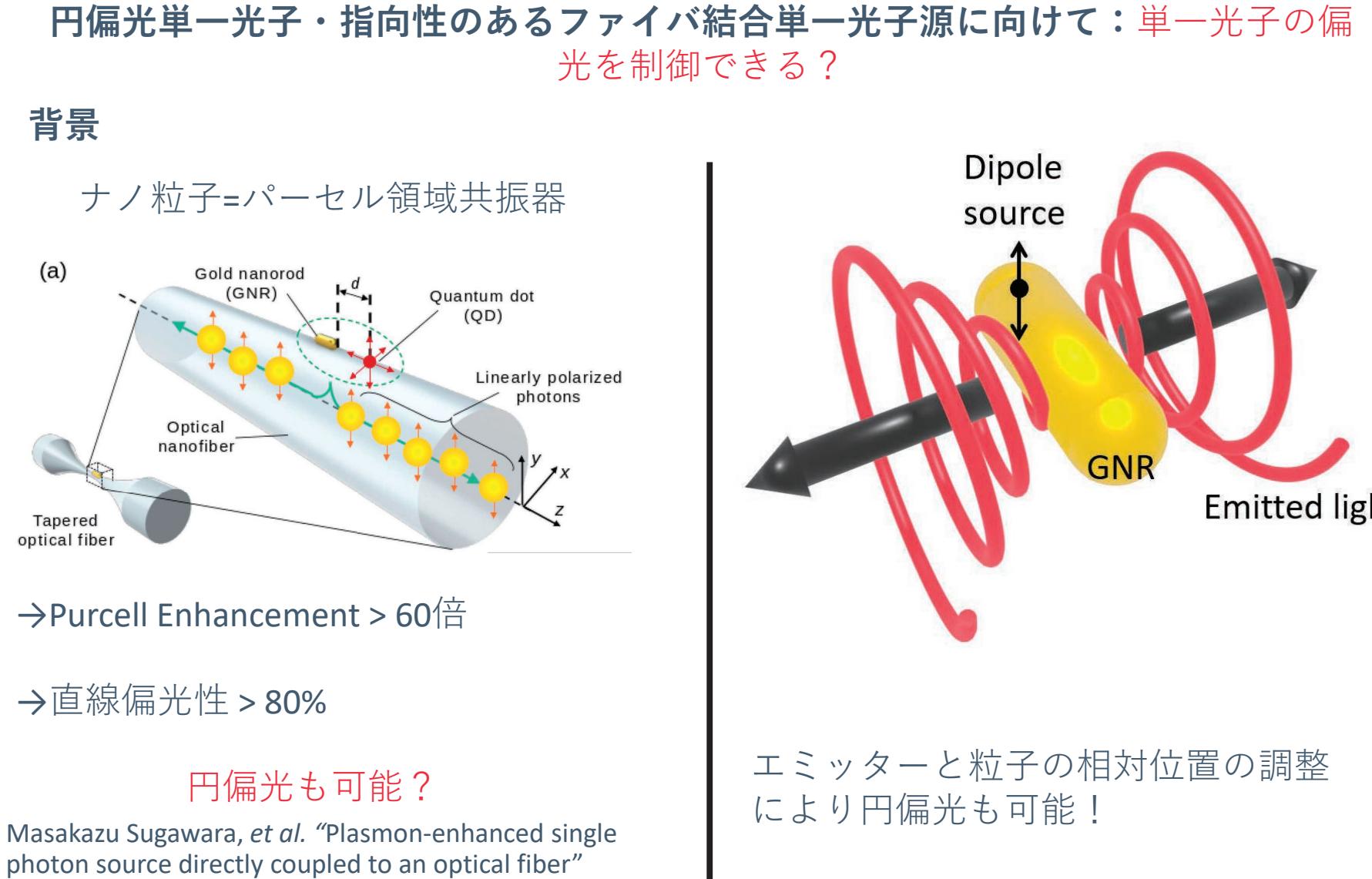
##### ファイバー内単一希土類原子の選択的励起



##### 従来手法との収集効率の違い



##### 単一光子の偏光制御



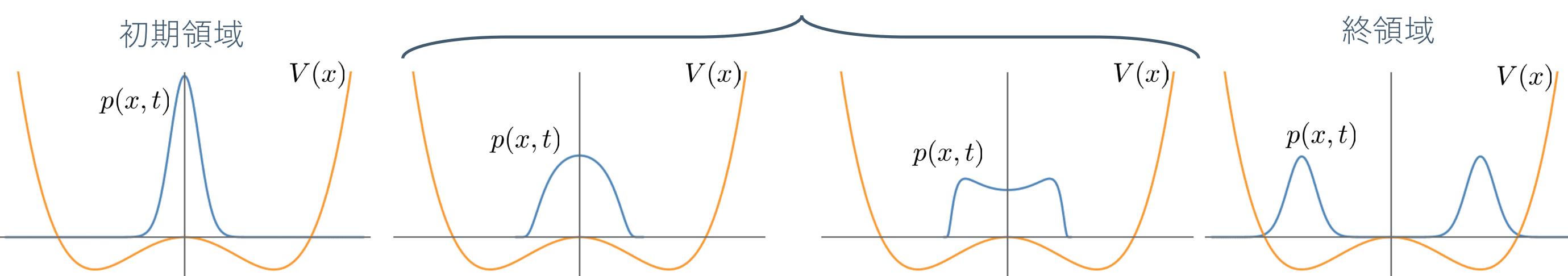
#### 量子情報理論

秩序変数  $x$  がゼロから非ゼロへと変化する秩序生成過程を考える。ランダウ自由エネルギーのポテンシャル  $V(x) = A(T)x^2 + b x^4$  を想定し、秩序変数の従う確率密度関数の時間発展を記述する。この確率密度関数の時間発展は、フォッカープランク方程式

$$\frac{\partial p(x, t)}{\partial t} = -\frac{\partial}{\partial x} \{(\gamma x - gx^3)p(x, t)\} + D \frac{\partial^2}{\partial x^2} p(x, t)$$

によって与えられる。右辺第1項がポテンシャルから受ける力によるドリフト項であり、第2項が拡散項である。この一般解は未だ見つかっていないが、スケーリング理論によって下図のような挙動を示すことがわかっている。

##### スケーリング領域



スカラー曲率:  $R_{sc} = g^{\mu\nu} R_{\mu\nu}$

クリストッフェル記号:

$$\Gamma_{\mu\nu}^{\alpha} = \frac{1}{2} g^{\alpha\lambda} (\partial_{\mu} g_{\nu\lambda} + \partial_{\nu} g_{\mu\lambda} - \partial_{\lambda} g_{\mu\nu})$$

リーマンテンソル:

$$R_{\nu\lambda\sigma}^{\mu} = \partial_{\lambda} \Gamma_{\nu\sigma}^{\mu} - \partial_{\sigma} \Gamma_{\nu\lambda}^{\mu} + \Gamma_{\nu\lambda}^{\mu} \Gamma_{\nu\sigma}^{\alpha} - \Gamma_{\nu\sigma}^{\mu} \Gamma_{\nu\lambda}^{\alpha}$$

リッチテンソル:  $R_{\mu\nu} = R_{\mu\alpha\nu}^{\alpha}$

擬フィッシャー計量:

$$g_{tt}(t), g_{tx}(t), g_{xx}(t)$$

オンセットタイム近傍での確率密度関数の漸近形にもとづいて、擬フィッシャー計量をそれぞれ計算すると次式が得られる。

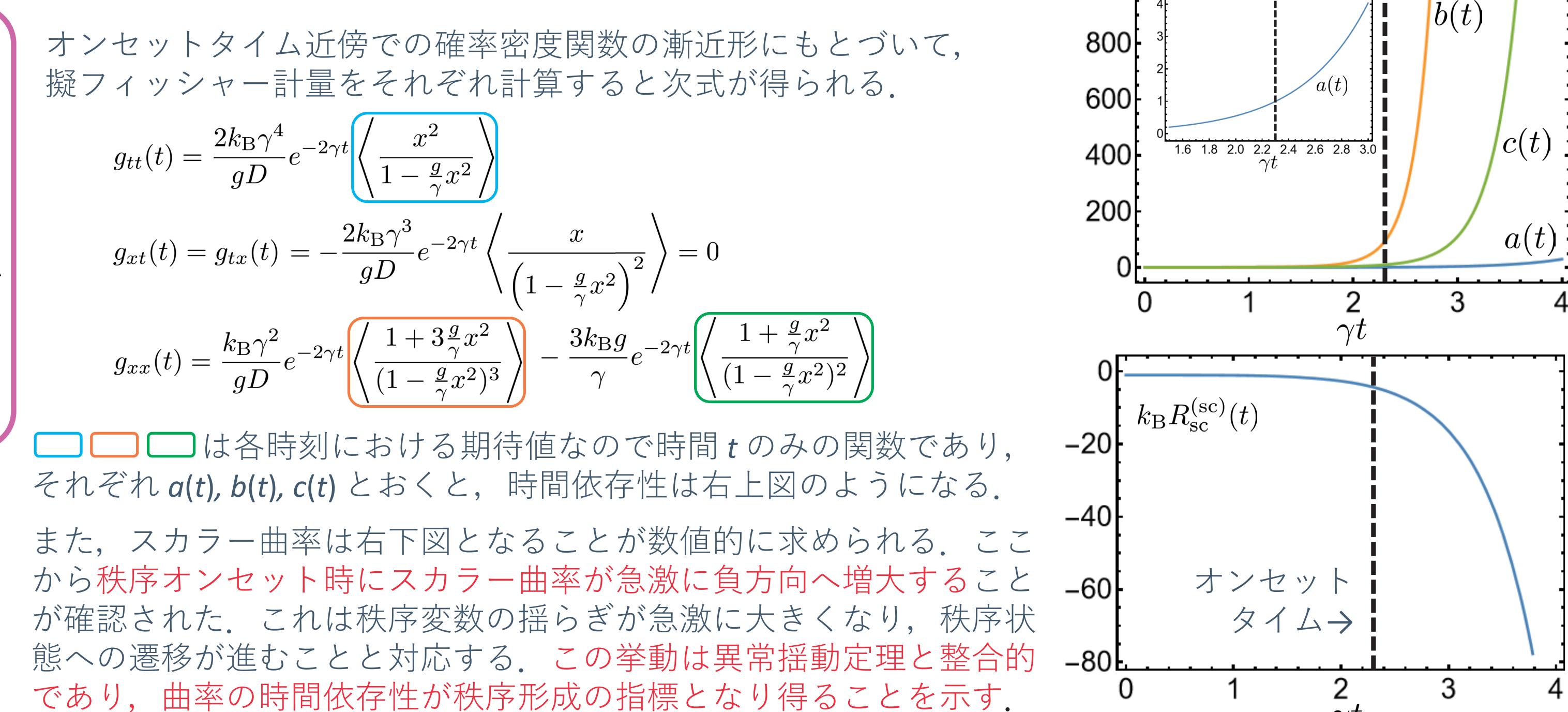
$$g_{tt}(t) = \frac{2k_B\gamma^4}{gD} e^{-2\gamma t} \left( \frac{x^2}{1 - \frac{g}{\gamma} x^2} \right)$$

$$g_{xt}(t) = g_{tx}(t) = -\frac{2k_B\gamma^3}{gD} e^{-2\gamma t} \left( \frac{x}{(1 - \frac{g}{\gamma} x^2)^2} \right) = 0$$

$$g_{xx}(t) = \frac{k_B\gamma^2}{gD} e^{-2\gamma t} \left( \frac{1 + \frac{3g}{\gamma} x^2}{(1 - \frac{g}{\gamma} x^2)^3} \right) - \frac{3k_B g}{\gamma} e^{-2\gamma t} \left( \frac{1 + \frac{g}{\gamma} x^2}{(1 - \frac{g}{\gamma} x^2)^2} \right)$$

□ □ □ は各時刻における期待値なので時間  $t$  のみの関数であり、それぞれ  $a(t)$ ,  $b(t)$ ,  $c(t)$  とおくと、時間依存性は右上図のようになる。

また、スカラー曲率は右下図となることが数値的に求められる。これから秩序オンセット時にスカラー曲率が急激に負方向へ増大することが確認された。これは秩序変数の揺らぎが急激に大きくなり、秩序状態への遷移が進むことと対応する。この挙動は異常揺動定理と整合的であり、曲率の時間依存性が秩序形成の指標となり得ることを示す。



### ▶ 今後の展開

超伝導量子情報グループ：系統的なコヒーレンス時間測定を行い、窒化物超伝導体、窒化物絶縁体を用いた超伝導量子ビットの性能評価を進める。光量子情報グループ：ファイバー内希土類原子の選択的励起について、単一性を保ちつつ更なる高効率化を目指す。また、単一光子の偏光制御についても偏光性の向上を目指す。量子情報理論グループ：多次元秩序変数系や非ガウス分布、さらに量子系への応用を視野に入れ、擬フィッシャー空間を用いた非平衡量子系の幾何学的特徴づけを進める。ナノ量子情報研究部門：グループ間の更なる連携強化を進め、共同研究のテーマの創出を目指す。

### 【連絡先】研究部門長

#### 理学部第一部物理学科

吉原文樹

fumiki@rs.tus.ac.jp



東京理科大学  
TOKYO UNIVERSITY OF SCIENCE

RIST TUS  
Research Institute for Science & Technology