マイクロ固体フォトニクス研究会
第8回 レーザー学会「小型集積レーザー(II)」専門委員会@2026.02.25

分極反転デバイスがひらく量子・光電融合の未来

Future of Quantum Optics and PE Convergence Exploited by Polarization-Reversed Optical Devices

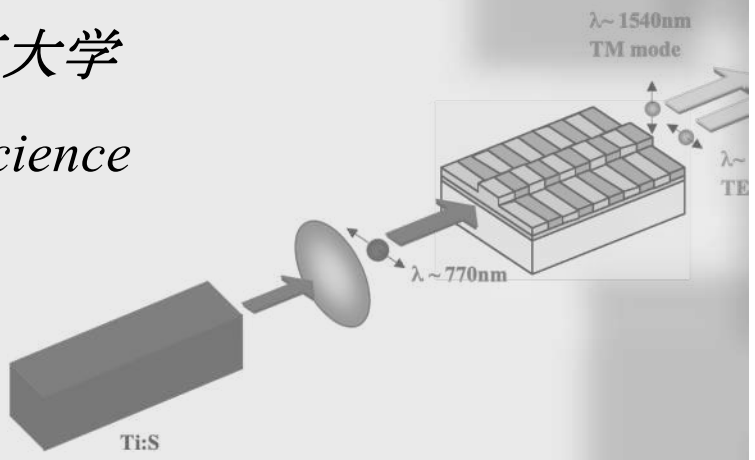
栗村　直

Sunao KURIMURA

物質・材料研究機構、慶応大学

National Inst. For Materials Science

Keio University



自己紹介

国研 物質･材料研究機構(NIMS)

cf.特定国立研究開発法人:
産業技術総合研究所、理化学研究所、NIMS

1997–1999	Stanford大学
1999–2001	分子科学研究所
2001–現在	物質･材料研究機構
2019–2021	応物学会ﾌｫﾄﾆｸｽ分科会幹事長
2022–2024	応物学会理事：講演会大会委員長

OPTICAフェロー、応物学会フェロー、レーザー学会フェロー

Acknowledgements

RGB-light generation in waveguides (SLT):
- H.H. Lim (IMS), N.E. Yu (GIST)

Optical Parametric Generation (Mg:SLT, Mg:LN)
- M. Maruyama, R. Koh, H. Nakajima (Waseda Univ.)
- A. Seki, T. Joichi, S. Masuda, T. Ida (Advantest Lab)

Waveguide devices (Adhered Ridge Waveguide):
- K. Kondou, J. Ichikawa (Sumitomo Osaka Cement)
- K. Tokuda, M. Hisamitsu (Shimadzu Corp.)
- S. Yamaguchi, M. Imaeda (NGK Insulators, LTD)

Ultrafast Quantum experiment :
- Y. Kochi, J. Ishi-HAYASE (Keio Univ.)
- O. Kuzucu, F. Wong (MIT)

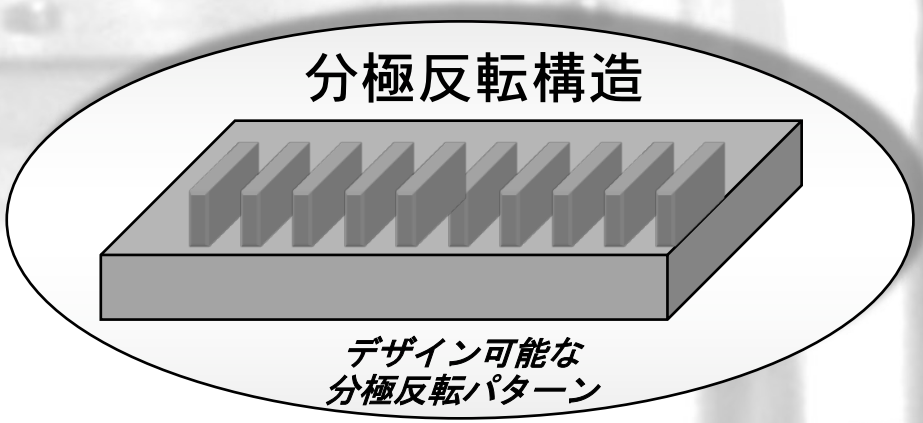
Quantum Optics experiment (QOCT):
- B. Cao, M. Okano, R. Okamoto, S. Takeuchi (Kyoto Univ.)

Vacuum Ultraviolet Devices (SiO2 quartz)
- M. Harada, K. Muramatsu (Nikon Corp.)
- M. Adachi, T. Yamada (Nidek Co., LTD)

分極反転デバイスの特長

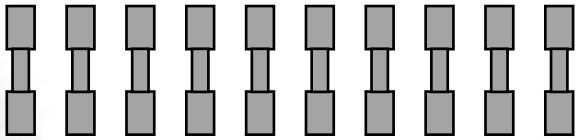
極性を反転することで、機能設計を可能にしたデバイス
非線形光学定数ｄ／電気光学定数ｒの符号を変える

- 高効率：
  高い$\chi^{(2)}$、導波路による強閉じこめ
- 高い設計性：
  ﾊﾟﾀｰﾆﾝｸﾞによる位相設計
- 超高速応答：
  実励起を伴わない仮想励起



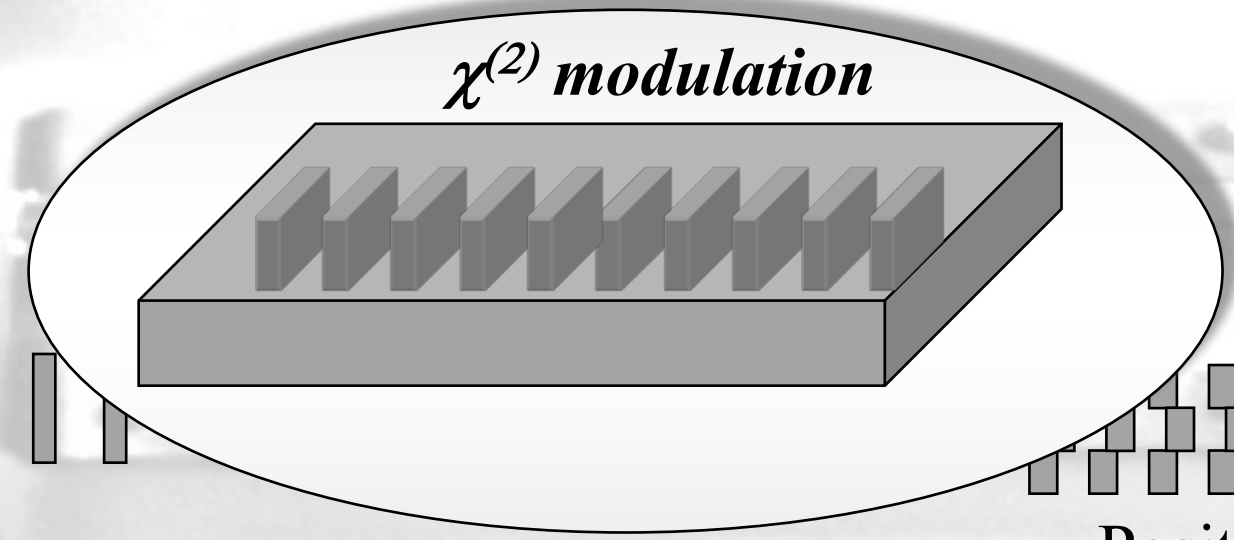
National Institute for Materials Science (NIMS), Japan
Sunao KURIMURA

分極反転パターンによる波長変換特性の設計

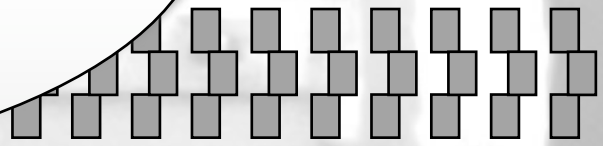


Duty ratio

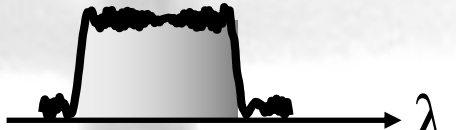
Amplitude design



Period

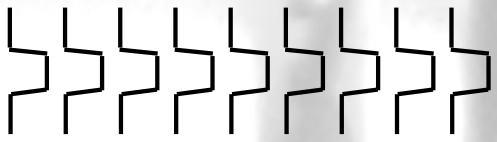


Position



Spectrum design

デザイン可能な
分極反転パターン



Phase design

National Institute for Materials Science (NIMS), Japan
Sunao KURIMURA

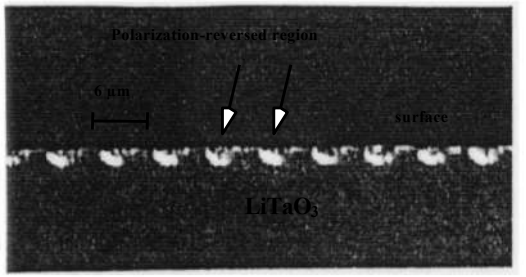
分極反転光デバイスの勃興

- 波長変換デバ
  - 1989 Ti拡散
    - LN導波路型波
    - LN導波路型波
    - LN導波路型波
  - 1991 プロト
    - LT導波路型波
    - **LT導波路型**
  - 1991 電子ビ
    - LNバルク型波
  - **1992 電界印**
    - **LT導波路型**
    - LN導波路型波

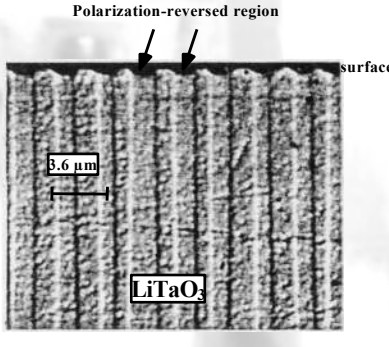
宮澤、栗村監修、オプトロニクス社

バー

断面図



表面近傍に限られた
分極反転構造（プロトン交換）



深さ方向に伸びた
分極反転構造（電界印加）

National Institute for Materials Science (NIMS), Japan
Sunao KURIMURA

講演概要

- イントロダクション
- 分極反転デバイス
- 波長変換RGB光源
  - レーザーディスプレイ
- 生体計測用波長変換可視光源
  - チャネル変換
- 量子光学用光源
  - 量子通信
  - 量子計測
  - 量子もつれ光子対発生

National Institute for Materials Science (NIMS), Japan
Sunao KURIMURA

「危機管理投資」から「成長投資」へ：17の戦略分野

AI・半導体
造船
量子
合成生物学・バイオ
航空・宇宙
デジタル・サイバーセキュリティ
コンテンツ
フードテック
資源・エネルギー安全保障・GX
防災・国土強靱化
創薬・先端医療
フュージョンエネルギー
マテリアル(重要鉱物・部素材)
港湾ロジスティクス
防衛産業
情報通信
海洋

どのように貢献できるか
その未来像をみていきた

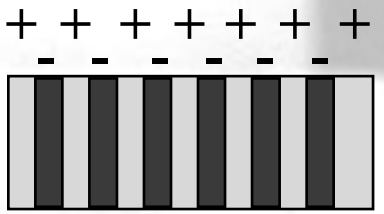
National Institute for Materials Science (NIMS), Japan
Sunao KURIMURA

極性制御(分極反転)デバイス

分極反転構造とは？

1 極性の反転構造

- 強誘電分域を整列させた構造
- 常誘電体双晶を整列させた構造
- 半導体の副格子を反転成長させた構造
- 結晶を拡散接合させた構造



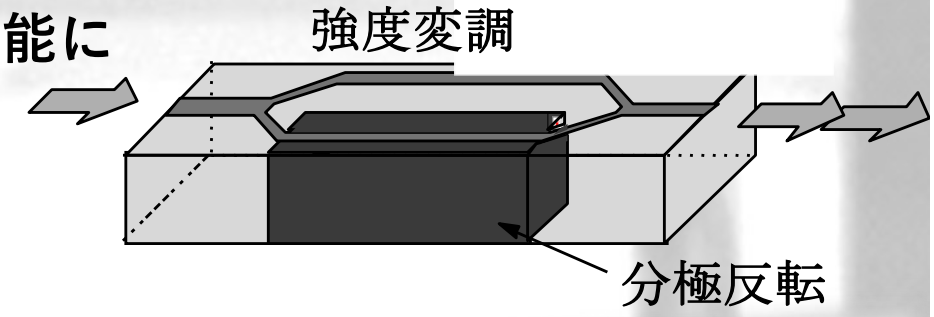
波長変換

何が変わる？

2 非線形光学／電気光学定数の符号を反転

- 任意波長で位相整合を可能に
- 出射光の周波数や位相を設計可能に
- 高い効率が可能に

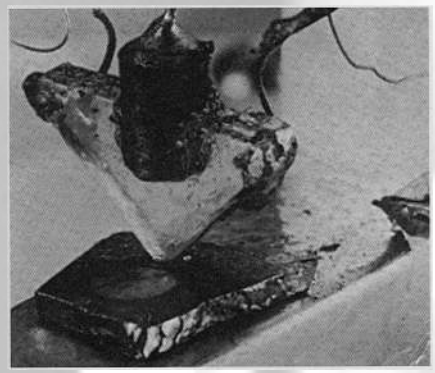
物質定数: *非線形光学定数 d*
$\chi^{(2)}$ *電気光学定数 r*



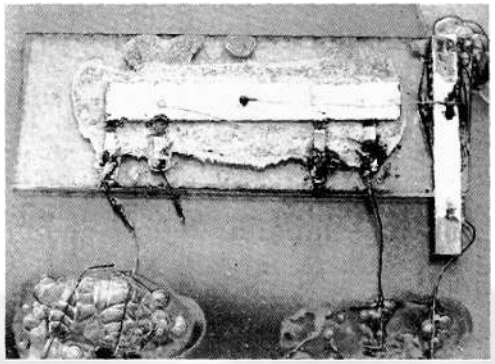
National Institute for Materials Science (NIMS), Japan
Sunao KURIMURA

分極反転が描く将来像

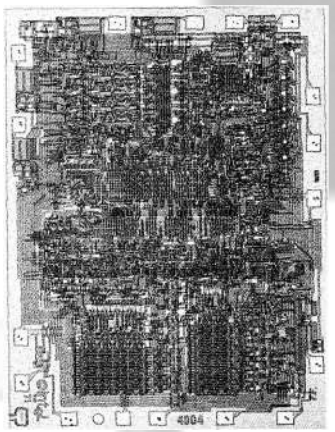
- **Si Integrated circuit**



Transistor
(1947 Bardeen, Bratten, Shockley)
Nobel Prize in 1956

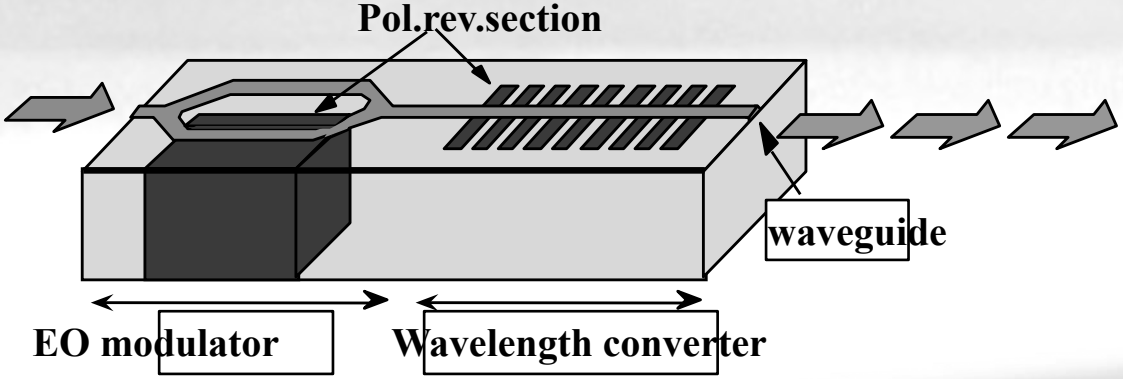


Integrated Circuit
（1958 Kirby)
Nobel Prize in 2000



MPU（1971 Intel4004)

- **Integrated optics by Polarization Reversal**



National Institute for Materials Science (NIMS), Japan
Sunao KURIMURA

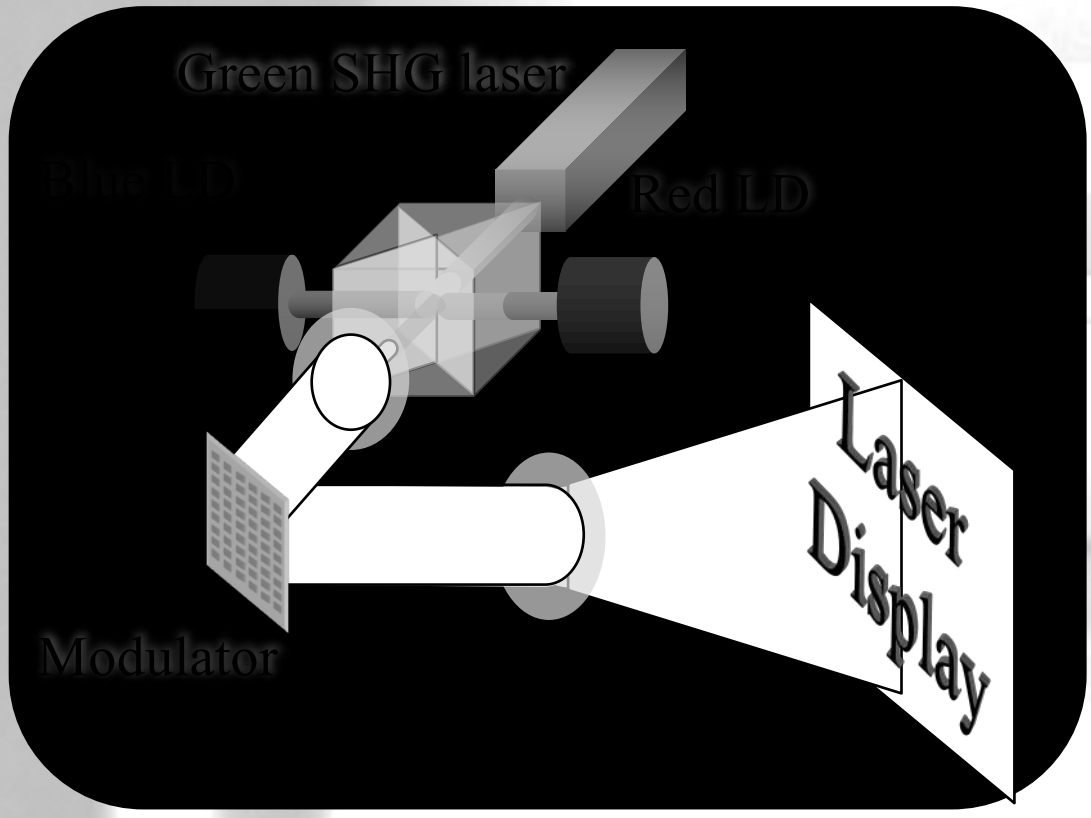
High power green laser for Laser Display

- Bulk Mg:SLT with QPM

National Institute for Materials Science (NIMS), Japan
Sunao KURIMURA

レーザープロジェクターという妄想

・ レーザーディスプレイの典型的構造



2002年には
高出力グリーンレーザーが
まだ世の中になかった
このためレーザープロジェクタ
研究開発が進まなかった

＊ ２次元反射型空間変調デバイスを用いる例（DLP, LCOS等）

高出力グリーンレーザーの先駆け

- **SHGによる波長変換緑色レーザー(2007-12)** **NIMS, 中央大, 東大**

日経クロステック トップ > 電子デバイス／電子設計 > 「波長変換デバイスによる緑色レーザーはコスト ザー光源で物材機構の栗村氏

メニュー キーワードで検索 日経 XTECH

新着 | トラブル | 調査／データ | IT | 電機 | 自動車 | 建築

「波長変換デバイスによる緑色レーザーはコストダウンにも有利」，プロジェクタ向けレーザー光源で物材機構の栗村氏

大西 順雄 日経マイクロデバイス

レーザーシネマ (IMAX等)

National Instit

緑色レーザー出力1.5倍

東大 物材機

と素子で開発

【つくば】物質・材料研究機構と東京大学は十五日、小型化しやすく高出力の緑色レーザーを開発したと発表した。レーザーの波長を緑色に変換する素子の放熱効率を向上して、従来より五〇

た赤外光 機構の変わせて出 レーザー 従来は 大が開 が最高だ

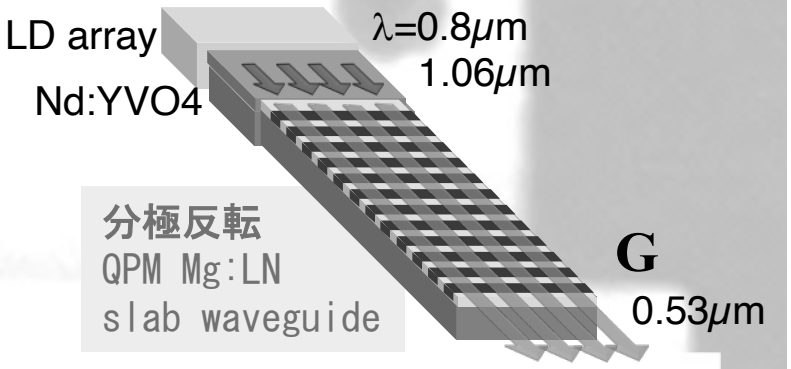
変換素子に物材機構が開発したタンタルやリチウムでできたSLTという熱伝導率の高い材料を利用。周りを覆う放熱材料に熱が伝わりやすいよう構造なども工夫して、高出力が出せるようにし

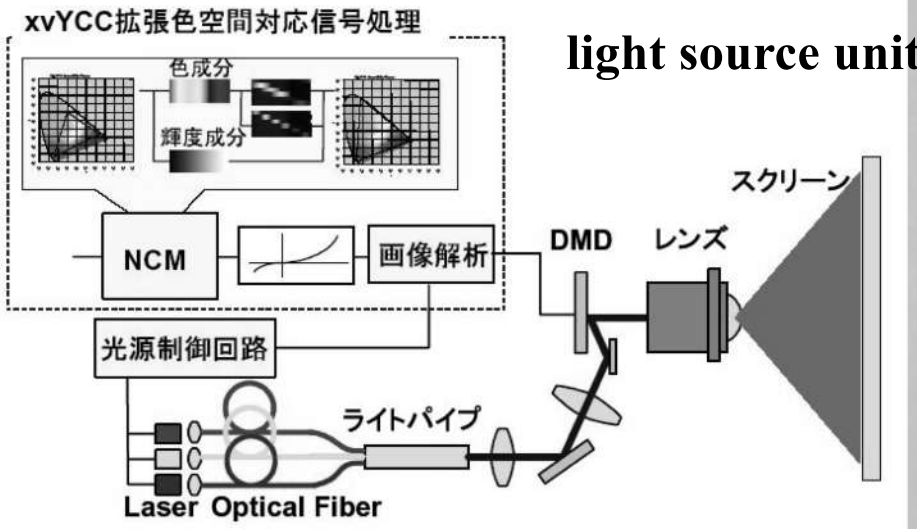
CWレーザーの
単行波長変換では
最高出力の19.1W

NIMS

レーザーテレビへの応用

・広色域レーザーテレビ（三菱電機）





・奥行きを26cmに
・NTSC規格比：135%
・コントラスト比：4000対1
・寿命：2万時間以上（LD寿命）

・消費電力はLCDの1/3、ﾌﾟﾗｽﾞﾏの1/4
・高い指向性→レンズ系の小型化
・2010年秋製品発売
（**三菱電機　平野嘉仁**現HyTIRA**他**）

LAWSON
UNITED
CINEMAS

関係各位

2025年5月吉日

株式会社ローソン・ユナイテッドシネマ

2025年7月　岡崎・小倉

「ローソン・ユナイテッドシネマ」への劇場名変更 及び

IMAX®レーザー 導入決定！

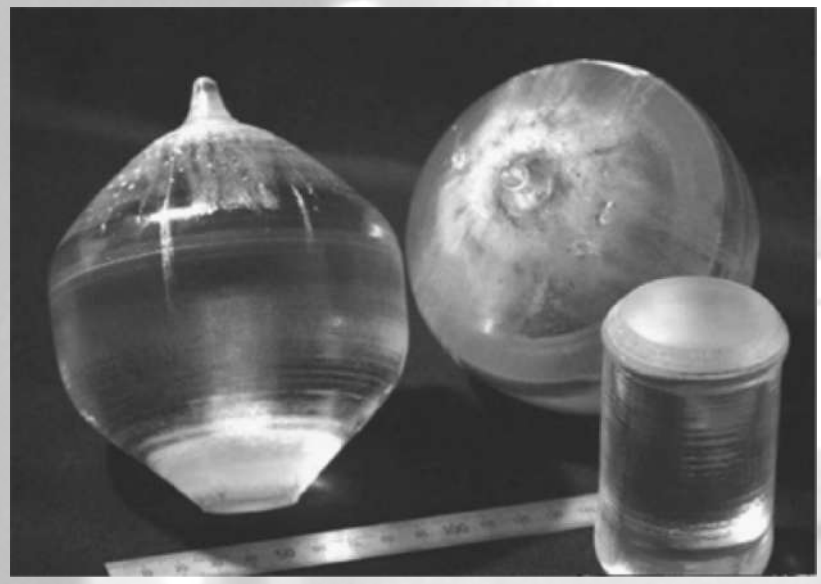
平素は格別のご高配を賜り、厚く御礼申し上げます。
株式会社ローソン・ユナイテッドシネマ（東京都品川区、代表取締役社長　清水俊英）は、7月中旬にユナイテッド・シネマ岡崎（所在地：愛知県岡崎市羽根町小豆坂3）および シネプレックス小倉（所在地：福岡県北九州市小倉北区砂津 3-1-1-3010）の劇場名を**「ローソン・ユナイテッドシネマ」**へ変更致します。また、劇場名変更時より、IMAX®社　最新鋭テクノロジーの **IMAX®レーザー** を**新規導入**致します。これにより、ローソン・ユナイテッドシネマのIMAX®導入劇場は、**全国 13 劇場**になります。

20年前の妄想が自分の生活に入り込んできた！

National Institute for Materials Science (NIMS), Japan
Sunao KURIMURA

分極反転波長変換デバイス ベンチャー企業

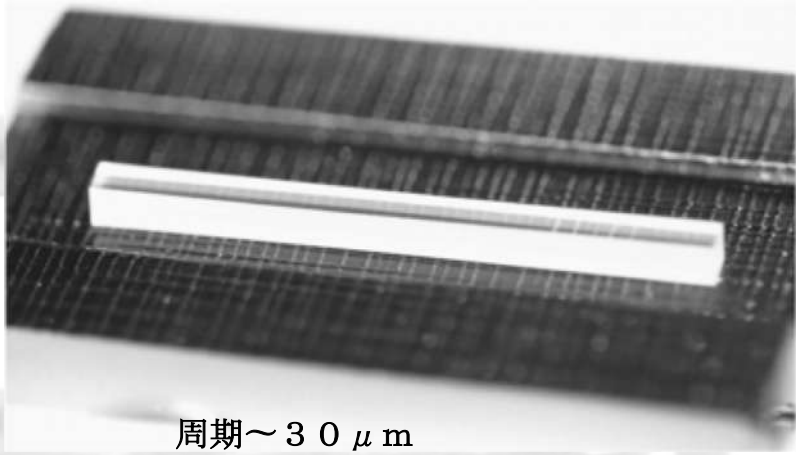
・ 結晶ベンチャーOXIDE



- 物質・材料研究機構で開発した
  二重るつぼ法で実用化に成功
- Mg:SLN/Mg:SLT単結晶

・ デバイスベンチャーSWING

SWING

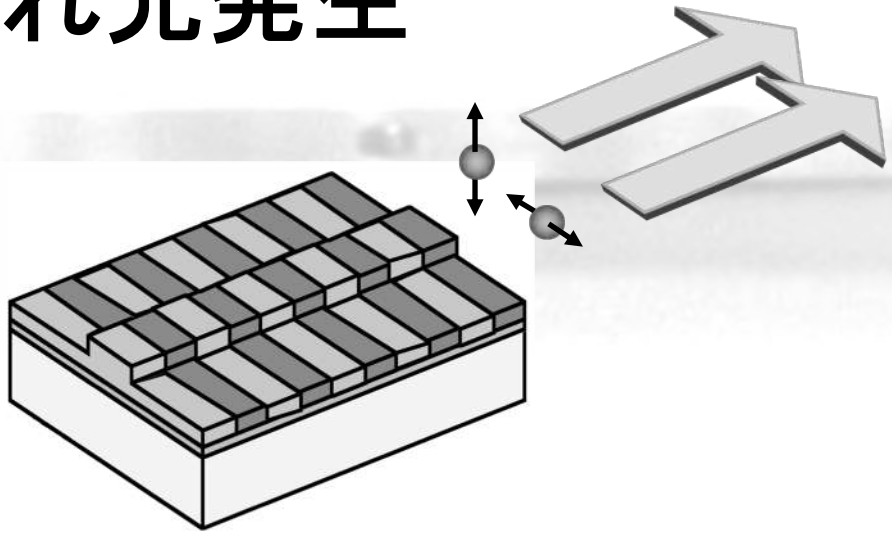


周期～３０μｍ

- 電界印加法にて開発に成功
(抗電界は従来の1/13)
- Mg:SLT分極反転波長変換デバイス
  定比組成Mg添加タンタル酸リチウム

National Institute for Materials Science (NIMS), Japan
Sunao KURIMURA

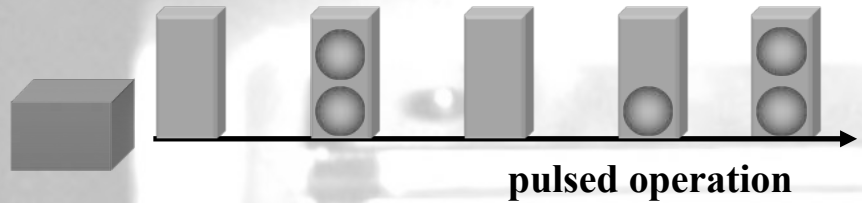
通信、計測への応用に向けた
量子もつれ光発生



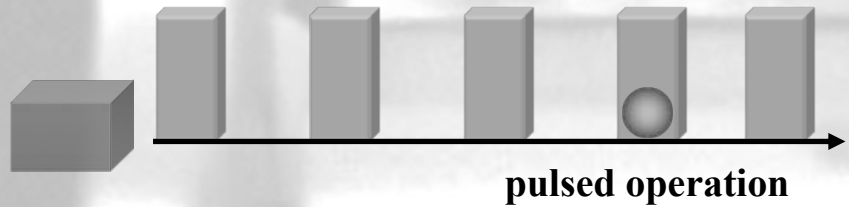
Application to single photon source

• Attenuation of weak coherent light
(conventional technique)

- Average photon number ~ 1

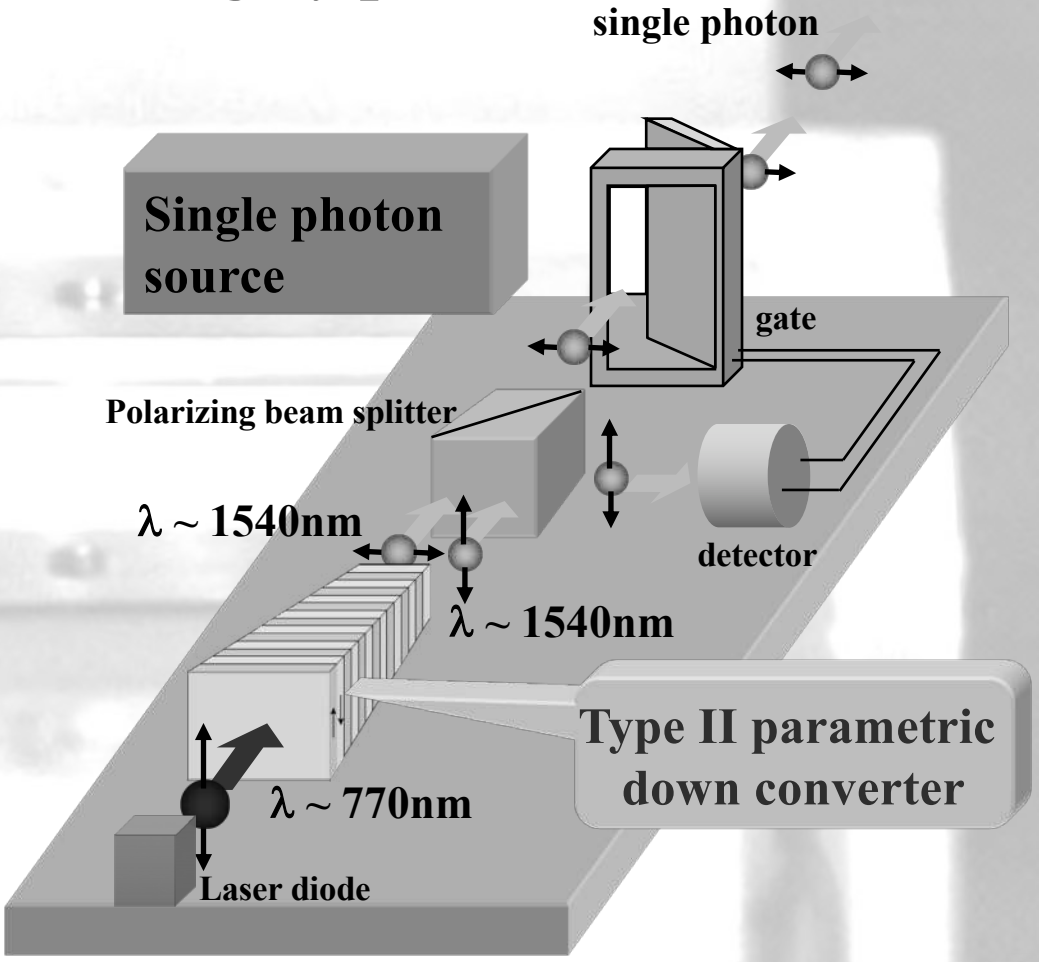


- Average photon number ~ 0.1



single photon per pulse
low transmission rate

• Gating by parametric conversion



National Institute for Materials Science (NIMS), Japan
Sunao KURIMURA

偏光もつれ型光子対発生

- 光ﾊﾟﾗﾒﾄﾘｯｸ発生 (OPG)@ 縮退点

TE(2ω) -> TE(ω)+TM(ω): NLO coeff. d_{24}
Device length :30 mm Room temp. operation

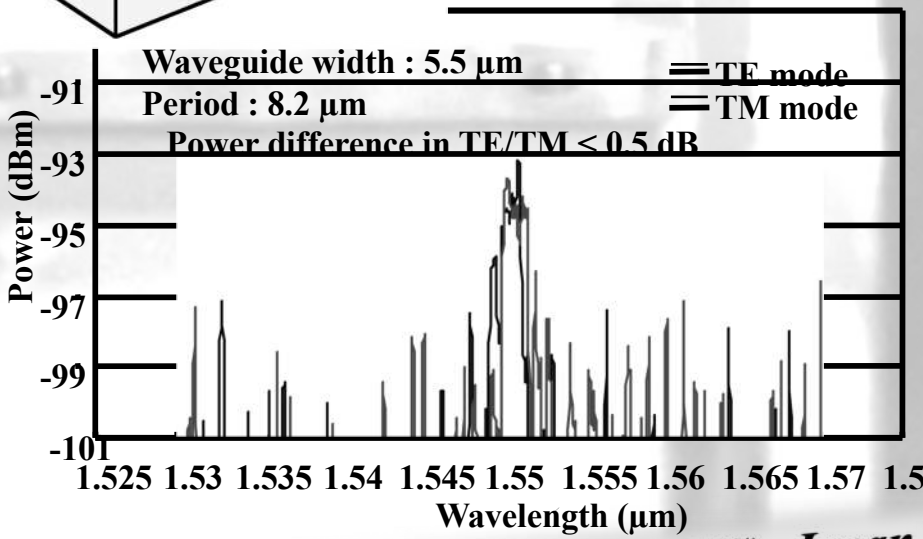
$$\Box_{12} = \frac{1}{\sqrt{2}}(|H_1\rangle|V_2\rangle + |H_2\rangle|V_1\rangle)$$

λ~ 1540nm
TM mode

λ~ 1540nm
TE mode

λ ~ 770nm

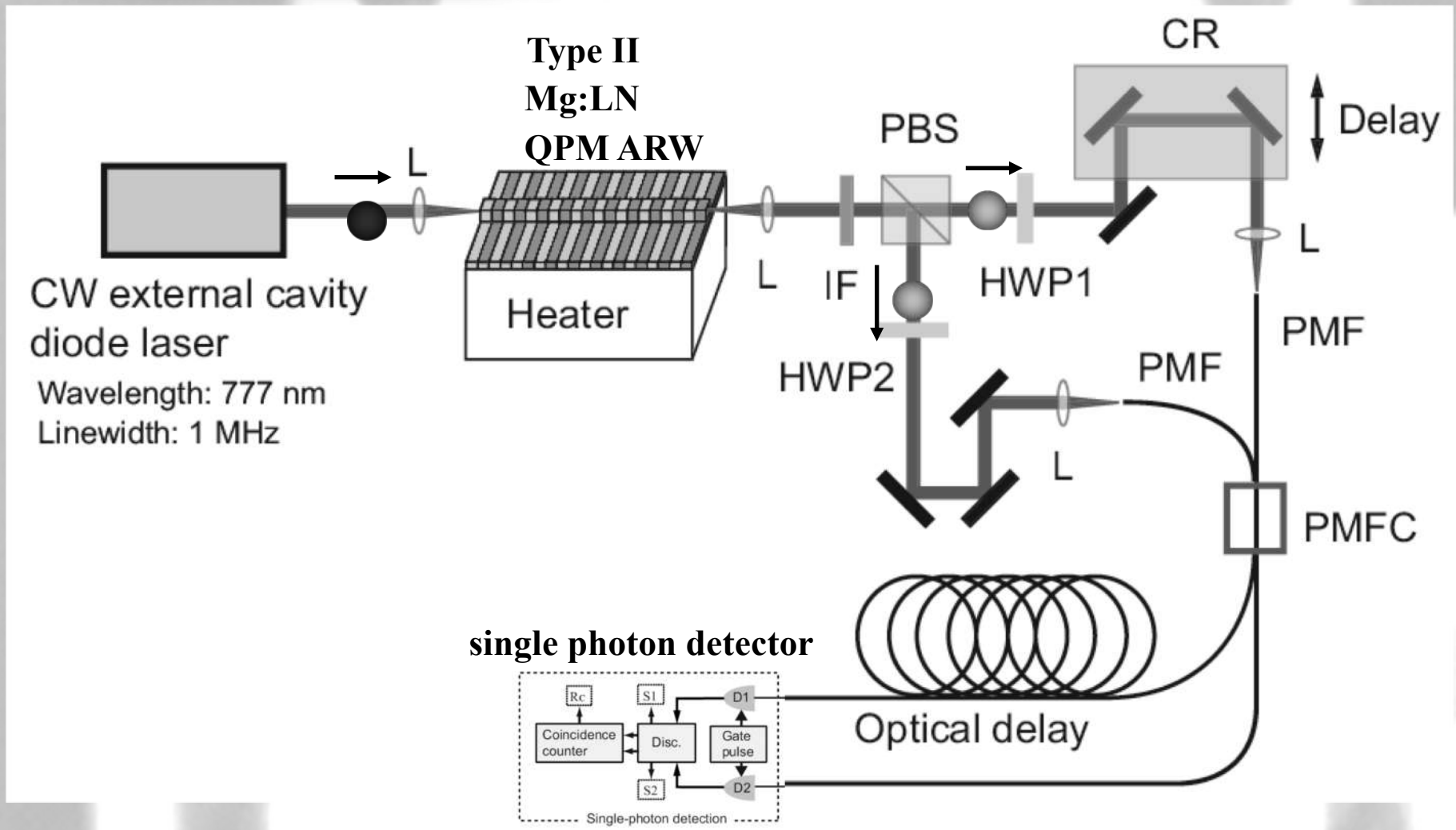
Ti:S



G. Fujii, N. Namekata, M. Motoya, S. Kurimura, S. Inoue,
Opt. Exp. 15, p.12769 (2007)

National Institute for Materials Science (NIMS), Japan
Sunao KURIMURA

直交偏光もつれ光子対の量子干渉実験

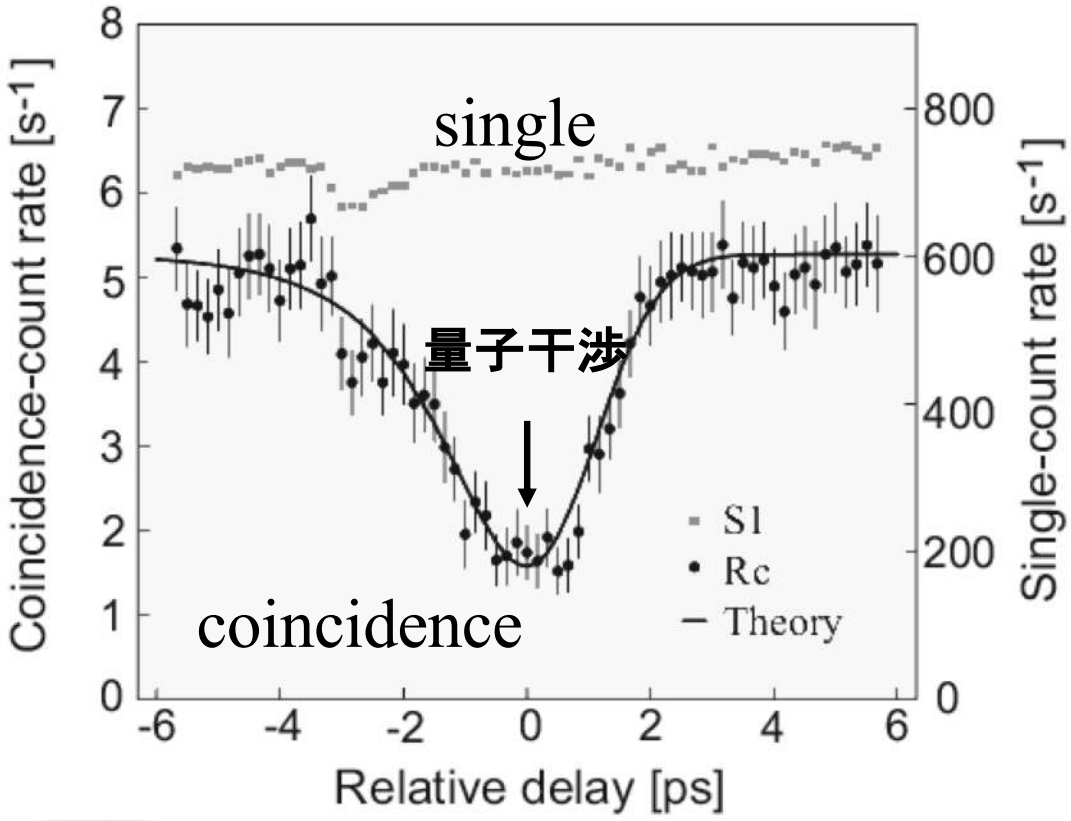


G. Fujii, N. Namekata, M. Motoya, S. Kurimura, S. Inoue: Optics Express 15(2007) pp. 12769.

National Institute for Materials Science (NIMS), Japan
Sunao KURIMURA

Type II もつれ光子の干渉性確認

・量子干渉実験（Hong Ou Mandel experiment）



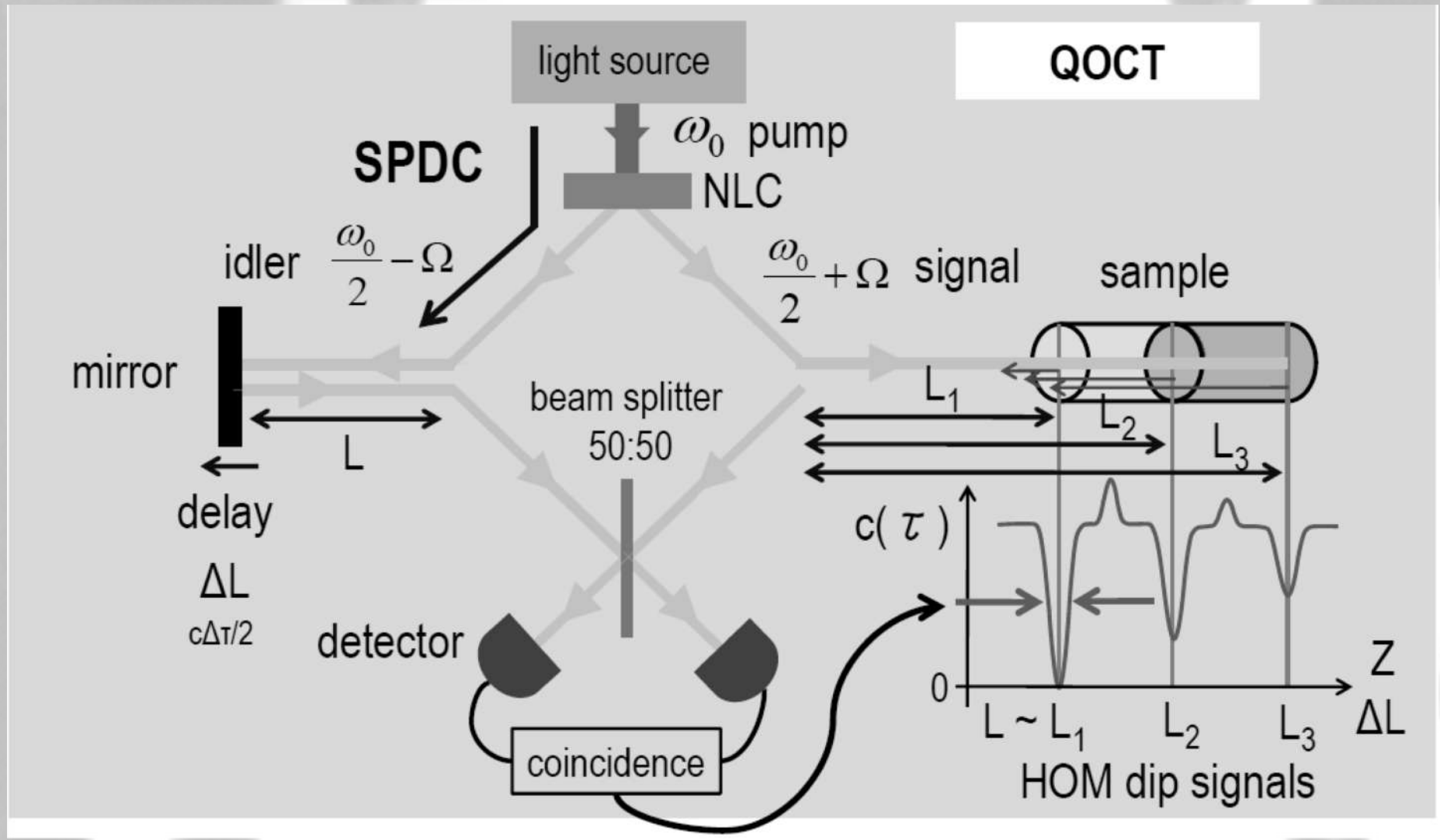
HOM dipの観測：

量子干渉性の確認

G. Fujii, N. Namekata, M. Motoya, S. Kurimura, S. Inoue: Optics Express 15(2007) pp. 12769.

National Institute for Materials Science (NIMS), Japan
Sunao KURIMURA

量子計測への応用（量子光ｺﾋｰﾚﾝｽﾄﾓｸﾞﾗﾌｨ）

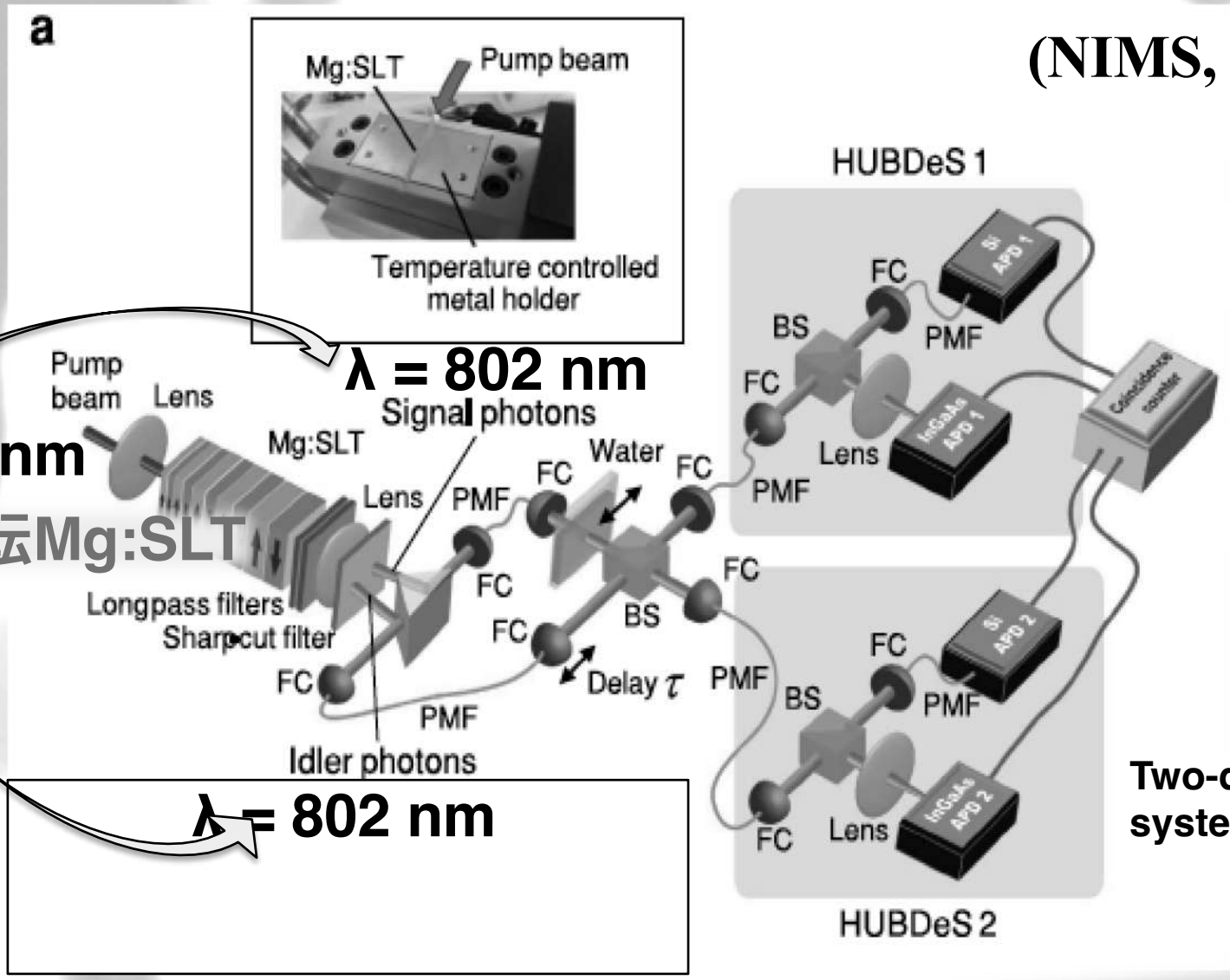


C. K. Hong, Z. Y. Ou and L. Mamdel, Phys.Rev.Lett., 59, 2044 (1987)

National Institute for Materials Science (NIMS), Japan
Sunao KURIMURA

Two Photon interference experiment

(NIMS, Kyoto Univ.)



λ = 802 nm

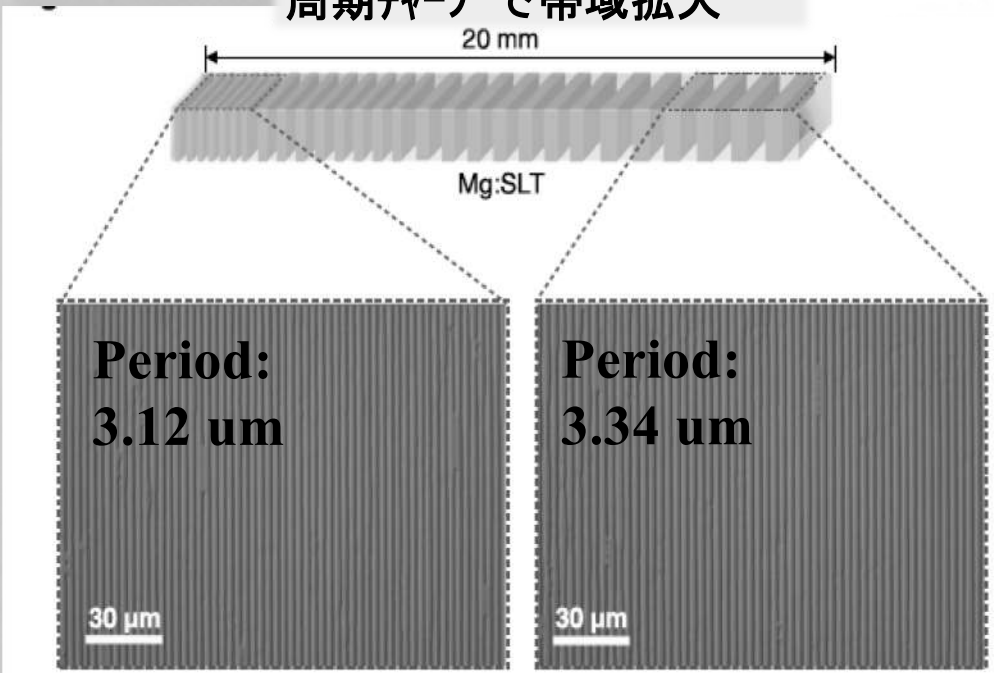
分極反転Mg:SLT

Two-detector system

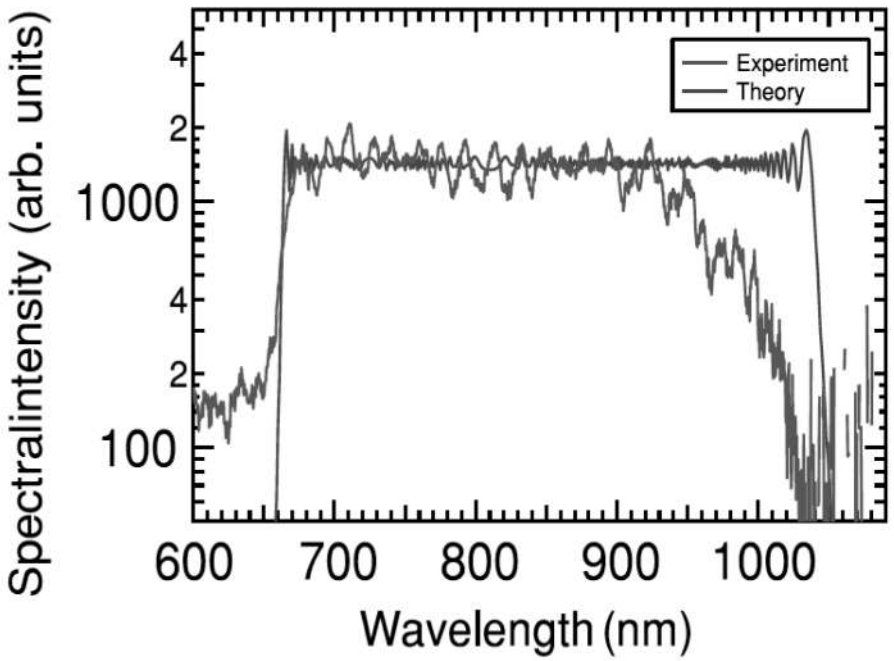
Broadband spectrum by chirping periods

•Chirped period OPG device

深さ分解能向上のために
周期ﾁｬｰﾌﾟで帯域拡大



•OPG pumped at 401 nm (NIMS, Kyoto Univ.)



6.7% chirped by nano electrodes

166 THz bandwidth,
λ = 660–1040 nm

M. Okano et. al, Scientific Reports | 5:18042 | DOI: 10.1038/srep18042

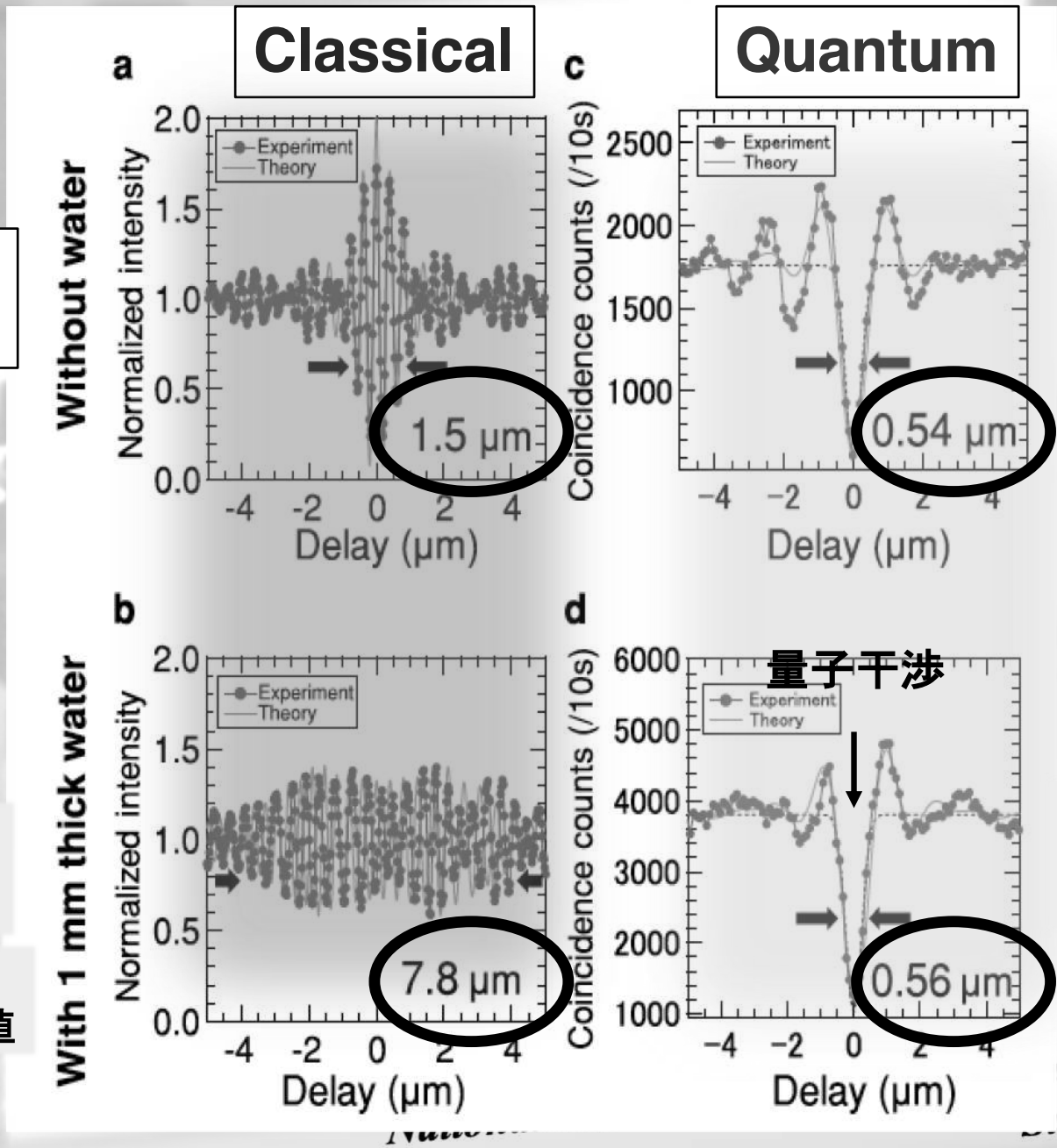
National Institute for Materials Science (NIMS), Japan
Sunao KURIMURA

Two-photon quantum interference signal

w/o dispersion

With dispersion

50㎜径の
眼球と同じ分散値



この分散値では
深さ分解能の劣化は
みられない

...ce (NIMS), Japan
...nao KURIMURA

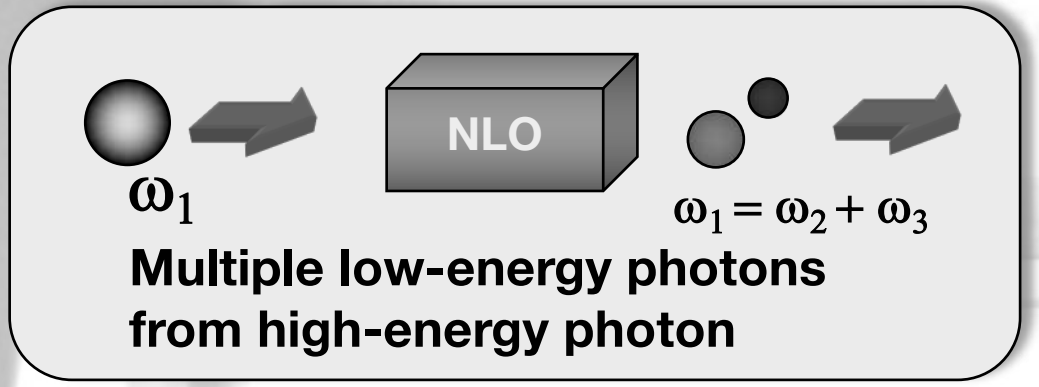
和周波発生タイムゲートによる
もつれ光子対の同時刻性評価

National Institute for Materials Science (NIMS), Japan
Sunao KURIMURA

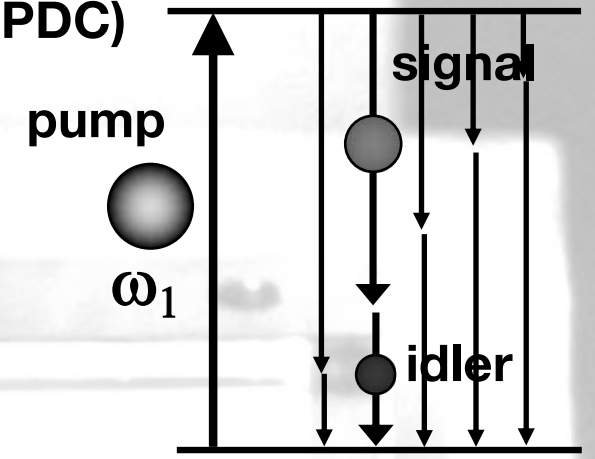
自発パラメトリック下方変換(SPDC)による相関光子対

•Optical Parametric Generation (OPG)

(Spontaneous Parametric Down Conversion: SPDC)

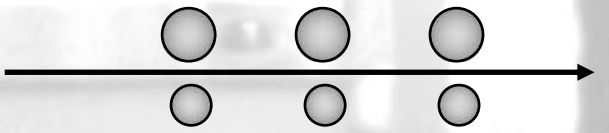


Multiple low-energy photons
from high-energy photon

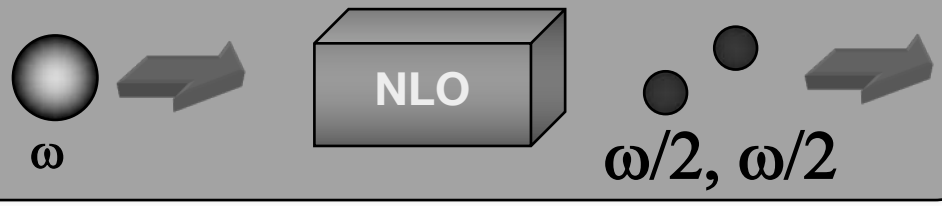


Emitted photons:

1. Simultanuity, coexistence
2. Entanglement of quantum state

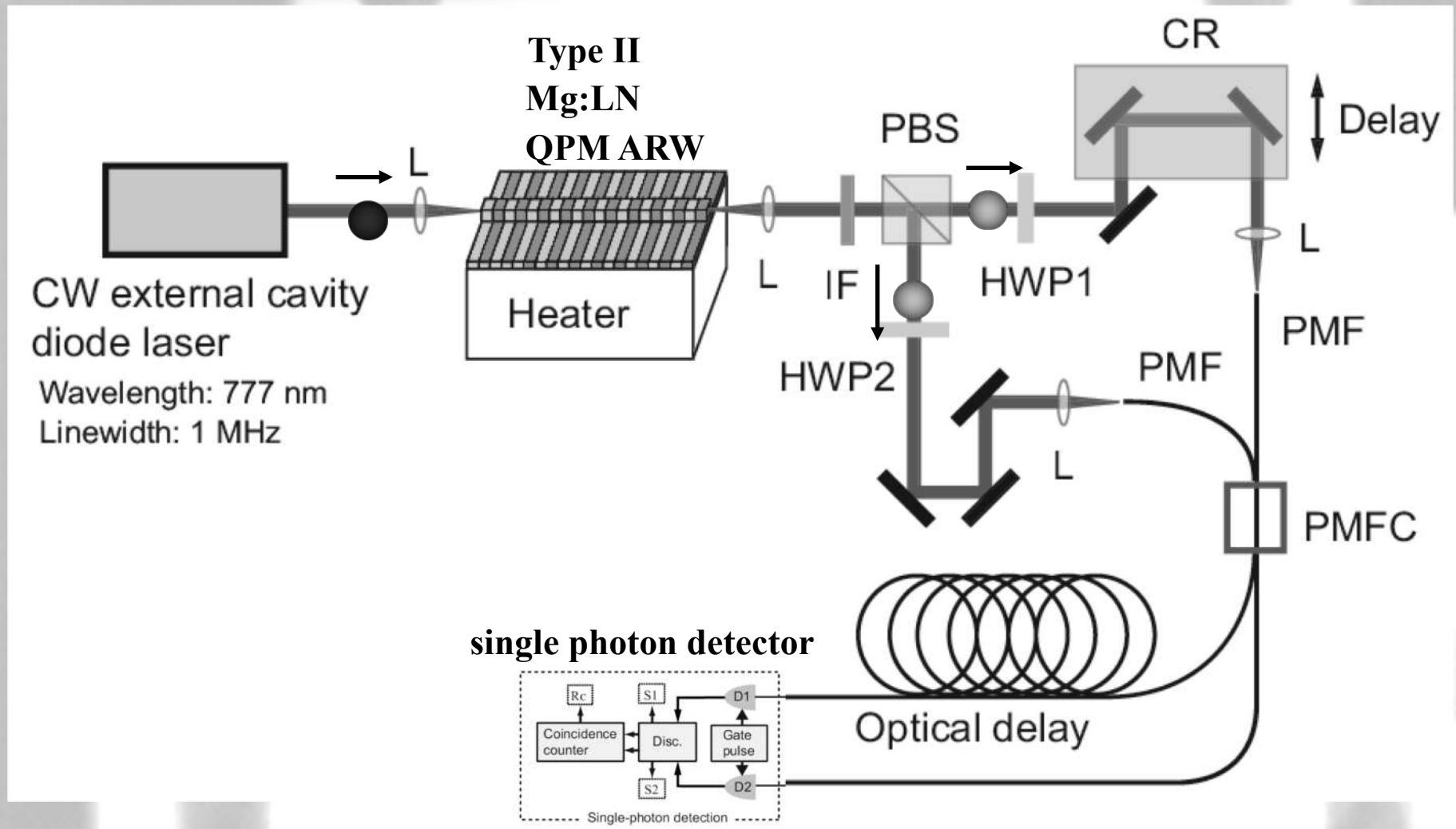


cf.) Twin Photon Generation



National Institute for Materials Science (NIMS), Japan
Sunao KURIMURA

もつれ光子対の同時刻性



G. Fujii, N. Namekata, M. Motoya, S. Kurimura, S. Inoue: Optics Express 15(2007) pp. 12769.

National Institute for Materials Science (NIMS), Japan
Sunao KURIMURA

Simultaneity of entangled photons

•Experimenta

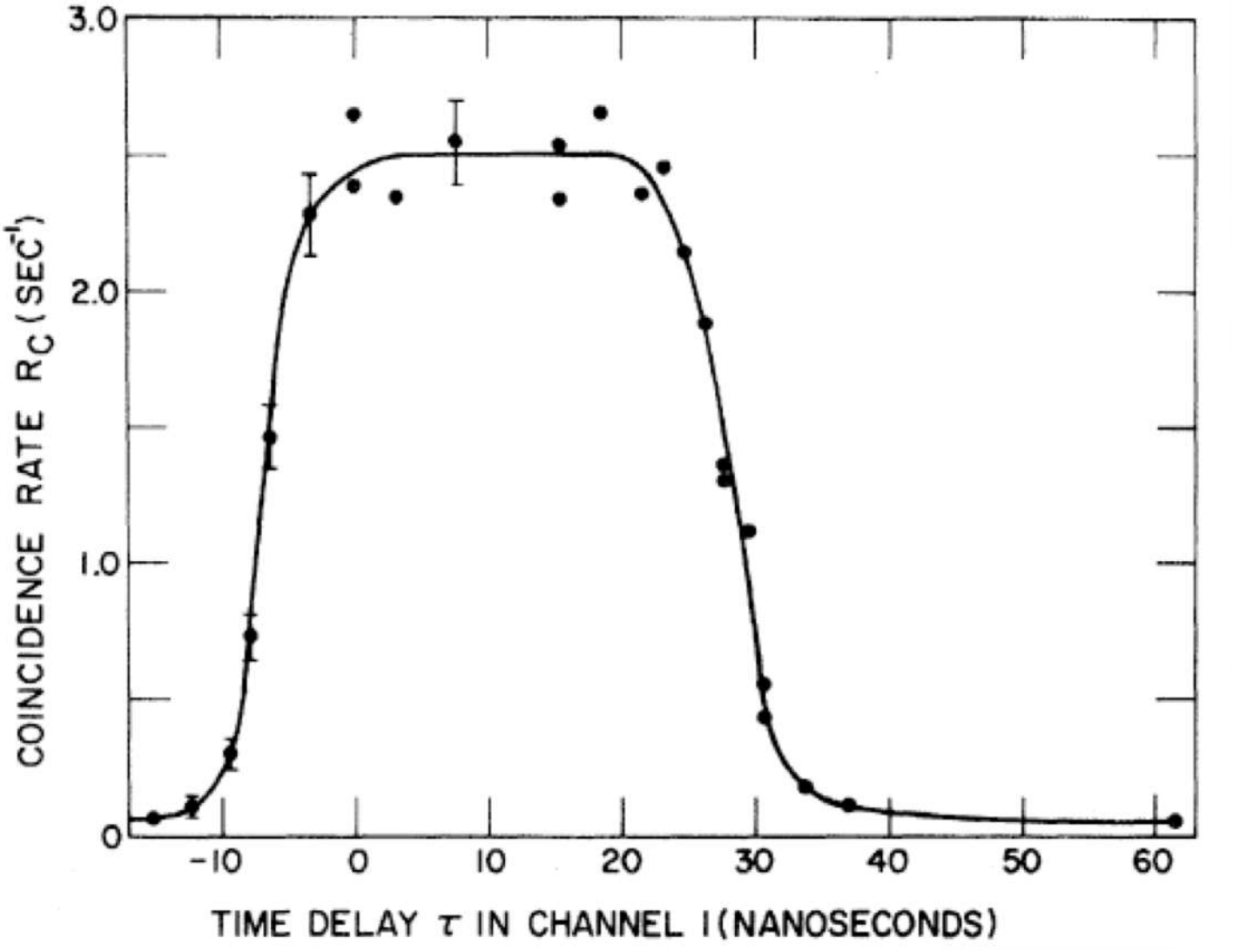
VOLUME 25, NUMBER 2

OBSERVATION OF SIM IRS

National Aeronautics and S 142

The quantum
single photon i
dences betwee
by a 325-nm H
tal rate [<0.03
mentum conse

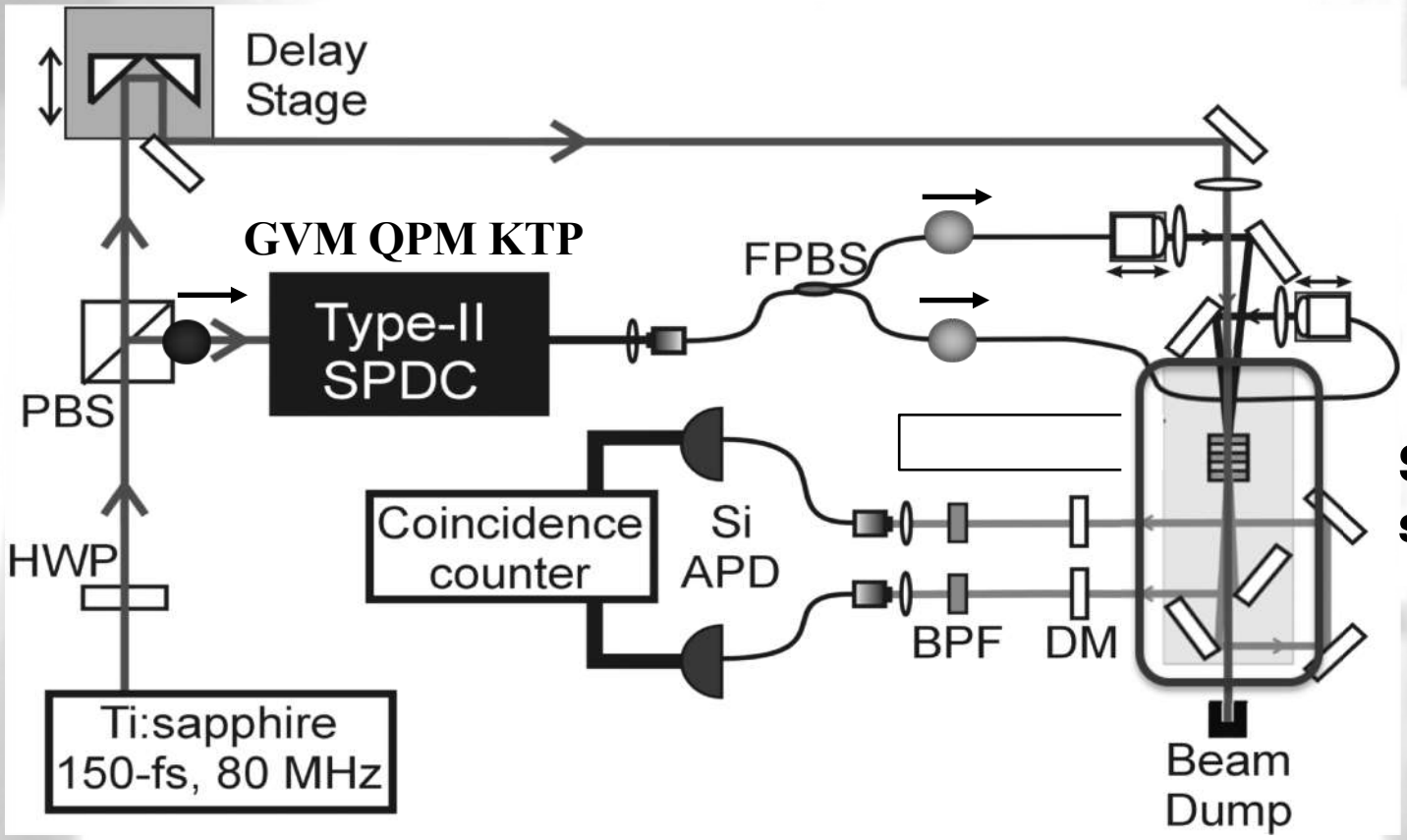
Coinc



National Institute for Materials Science (NIMS), Japan
Sunao KURIMURA

超高速相関光子対の和周波発生サンプリング光学系

・Opt. setup for SFG sampling of entangled photons (MIT, NIMS)

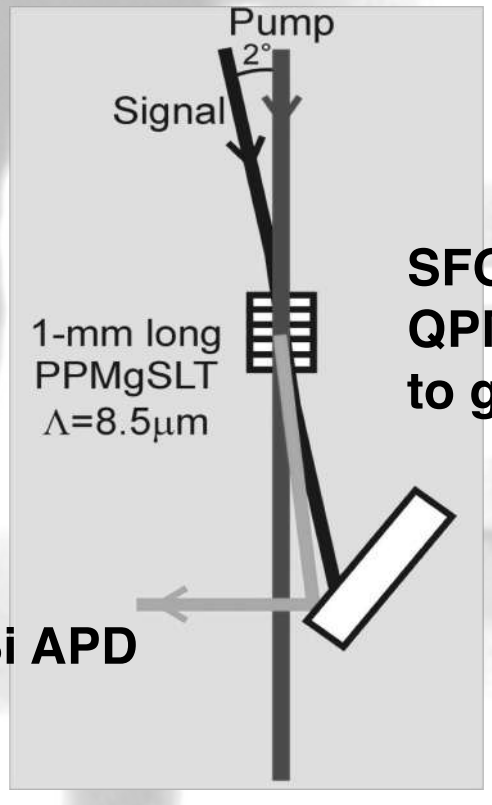


O. Kuzucu, F. N. C. Wong, S. Kurimura and S. Tovstonog, Opt. Lett. 33 (2008) 2257-2259.

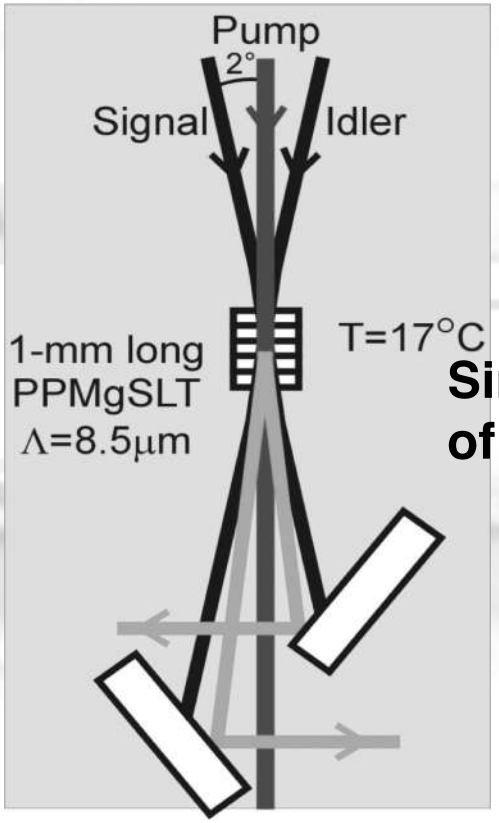
National Institute for Materials Science (NIMS), Japan
Sunao KURIMURA

和周波発生タイムゲートによる相関光子対の同時刻性評価

- **SFG time gate by Mg:SLT (MIT, NIMS)**



SFG in QPM MgSLT to green light

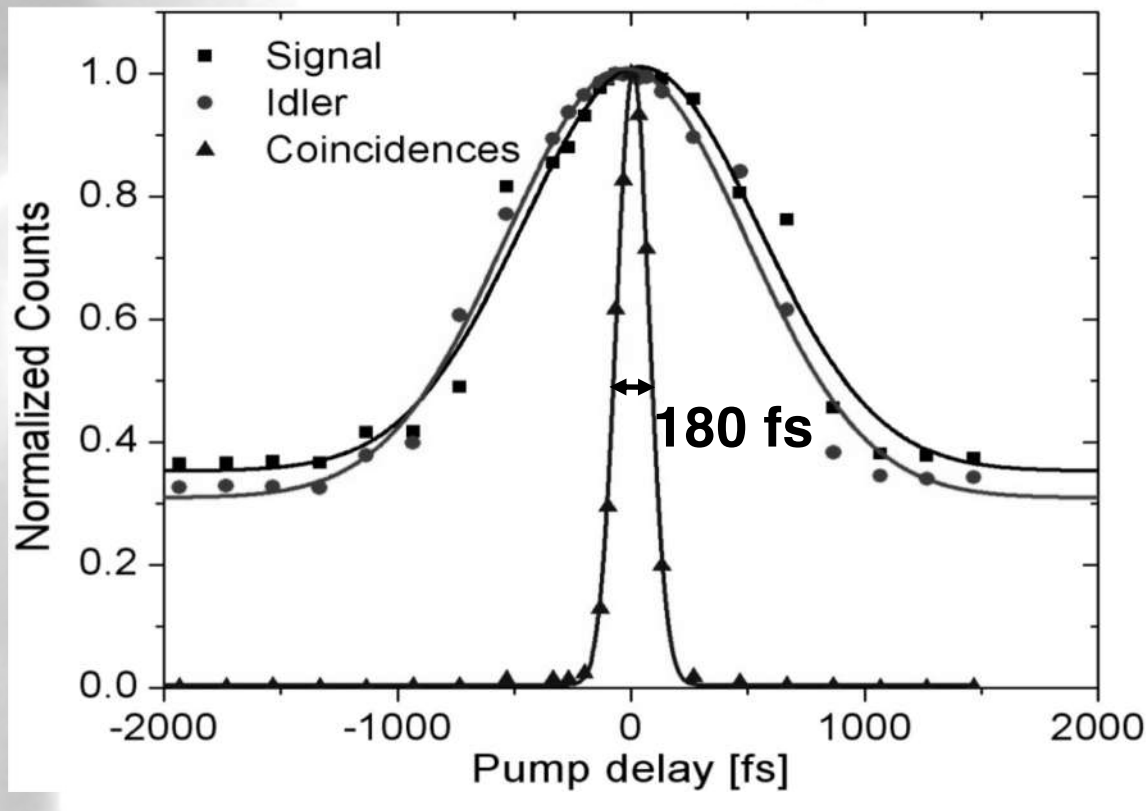


Simultaneous SFG of entangled photon

National Institute for Materials Science (NIMS), Japan
Sunao KURIMURA

相関(もつれ)光子対の相関時間

- **Two-photon coincidence time (MIT, NIMS)**



O. Kuzucu, F. N. C. Wong, S. Kurimura and S. Tovstonog,
Opt. Lett. 33 (2008) 2257-2259.
Phys. Rev. Lett. 101 (2008) 153602-1.

National Institute for Materials Science (NIMS), Japan
Sunao KURIMURA

超高速光サンプリングによる量子時間ゲート

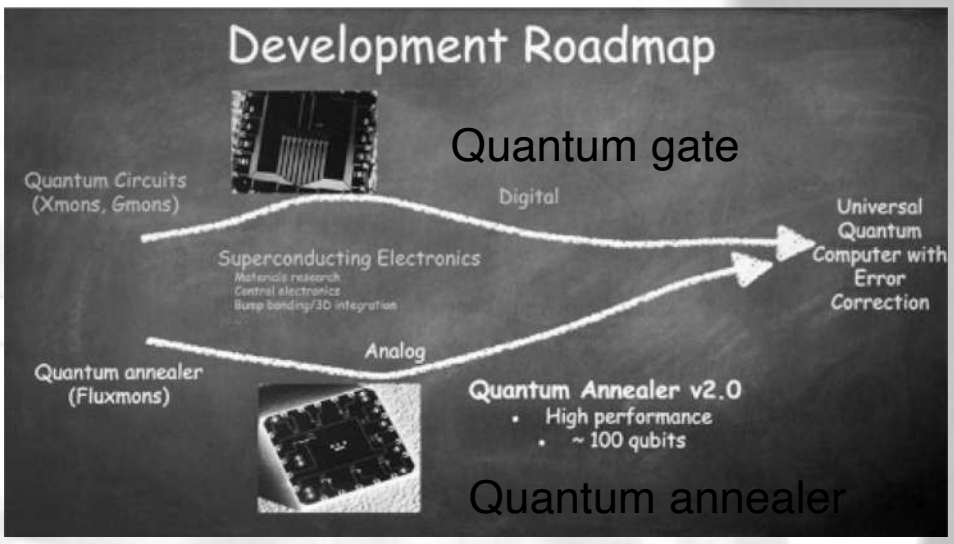
National Institute for Materials Science (NIMS), Japan
Sunao KURIMURA

Current situation in quantum computing

- **Quantum computer@Google**

cf. 53 qubit@2021 –> **5000 qubit @2022**

(quantum annealer)



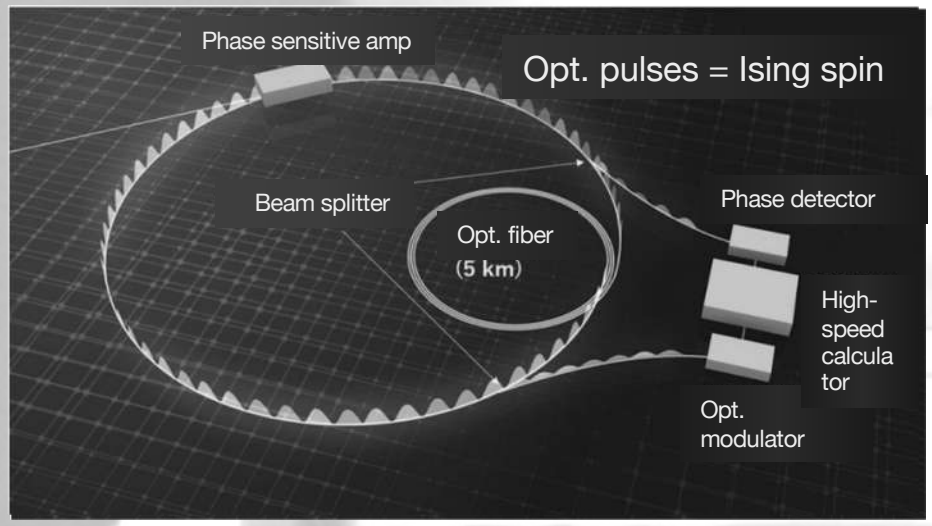
Google's road map@AQC 2016

- **Quantum computing**
  - **Quantum annealer:**
    - **Super Conductor Ising machine (Google, D-Wave …)**
    - **Optical network Ising machine (NTT)**
  - **Quantum gate:**
    - **Super Conductor gate machine (IBM, Google, Rigetti Computing…)**
    - **Trapped ion quantum computer (Honeywell, IonQ…)**

National Institute for Materials Science (NIMS), Japan
Sunao KURIMURA

Optical pulses in Quant. computing/communication

- **Quantum annealer by opt. pulses (NTT et al.)**



Flying qubit

2016:

Δt = 1 ns 2048 pulses

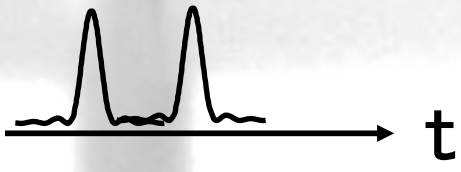
2021:

Δt = 0.2 ns 100,512 pulses

*https://group.ntt/jp/newsrelease/2021/09/30/210930a.html

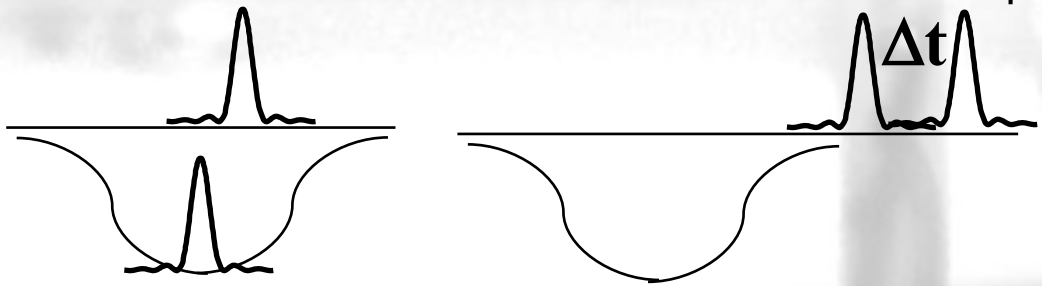
- **Quantum communication by time-bin qubit**

Δt: Pulse interval of time-bin qubit



$\alpha|0\rangle+\beta|1\rangle$

Robust qubit scheme

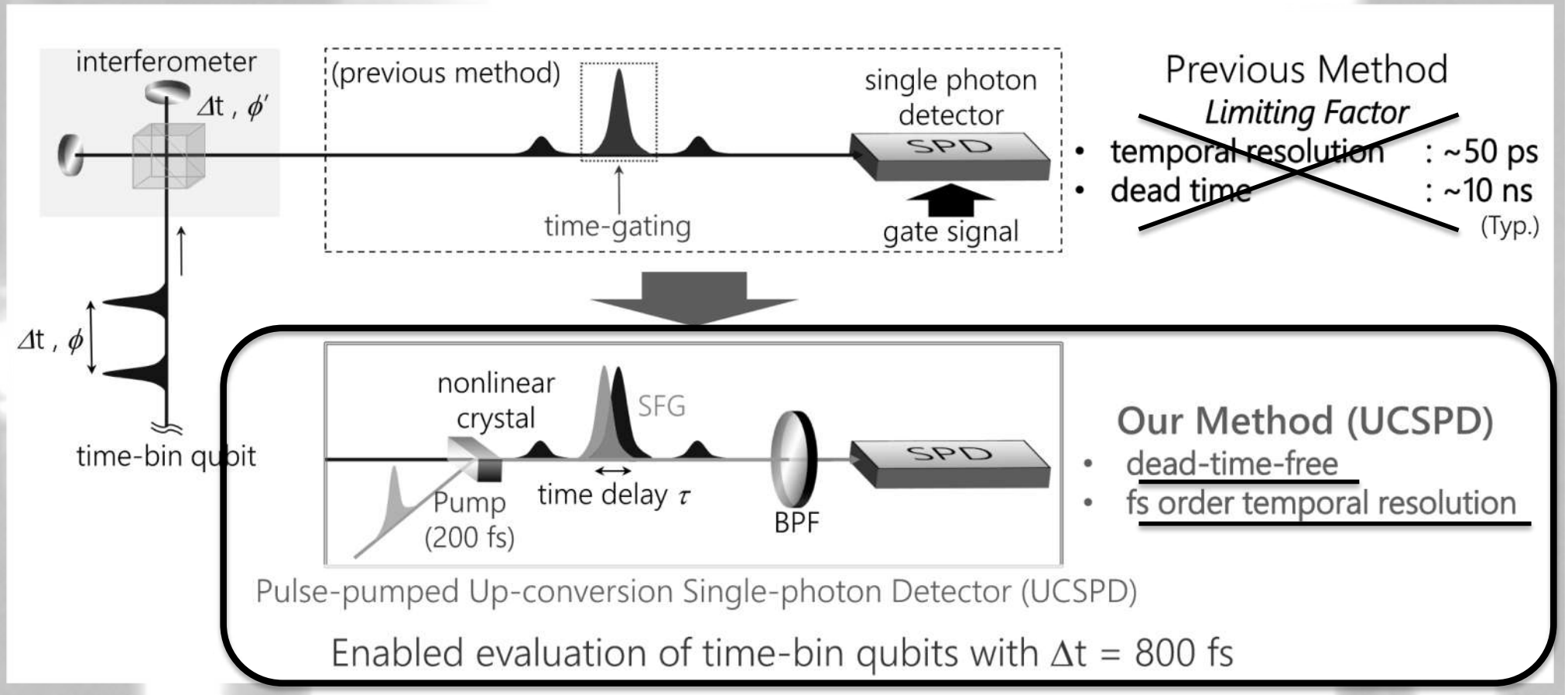


Detour route

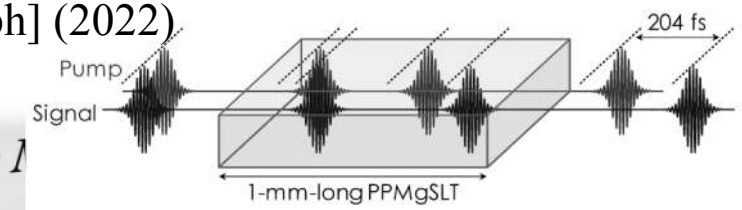
National Institute for Materials Science (NIMS), Japan
Sunao KURIMURA

Measurement of ultrafast pulse

- **Time-bin qubit measurement by SFG sampling (w/Keio Univ.)**



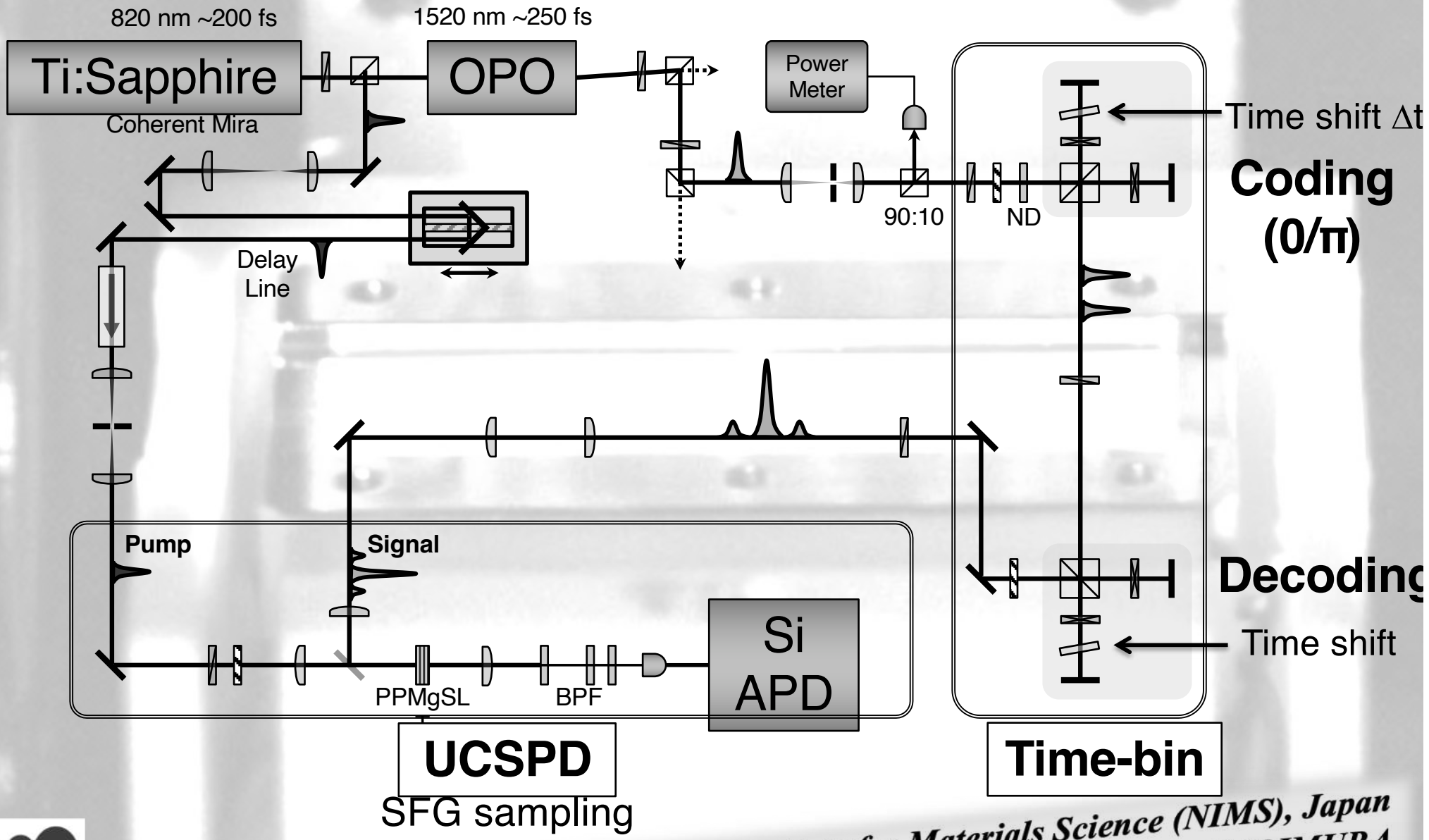
Y. Kochi, S. Kurimura, and J. Hayase, arXiv:2205.06957 [quant-ph] (2022)



NIMS

National Institute for

Time-bin-qubit decording by opt. sampling



National Institute for Materials Science (NIMS), Japan
Sunao KURIMURA

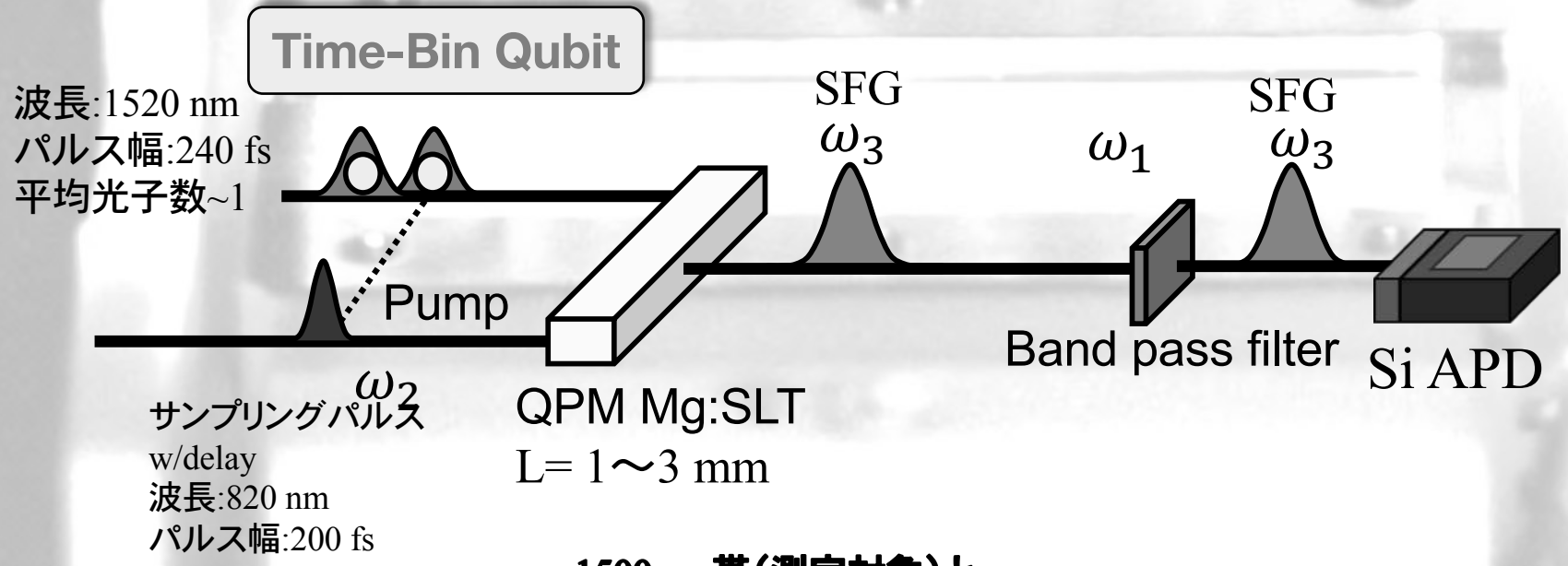
SFG光サンプリングのガイドラインをつくる

河内君

早瀬教授

•Mg:SLTのSFGによるパルスの時間分解測定(w/Keio)

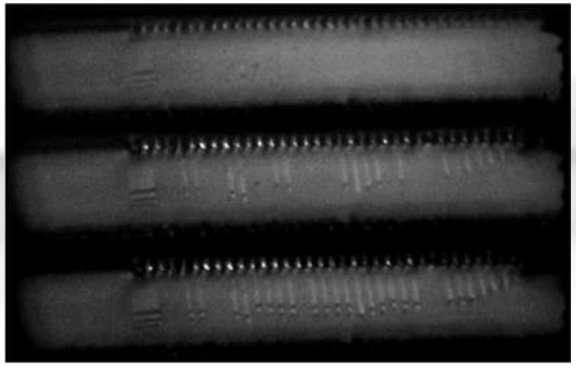
時間分解能と効率をみてデバイス選定のガイドラインをつくりたい
→　SFGサンプリングの設計指針を得たい



1500 nm帯(測定対象)と
800 nm光(サンプリングパルス)の
和周波発生530 nm光**で時間分解測定**

National Institute for Materials Science (NIMS), Japan
Sunao KURIMURA

極性反転水晶による
真空紫外光発生



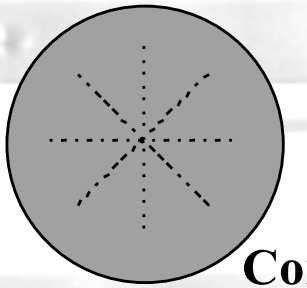
Eye surgery by 193 nm laser

- **Laser Assisted in Situ Keratomileusis (LASIK)**
  (collaboration with Nidek Inc.)

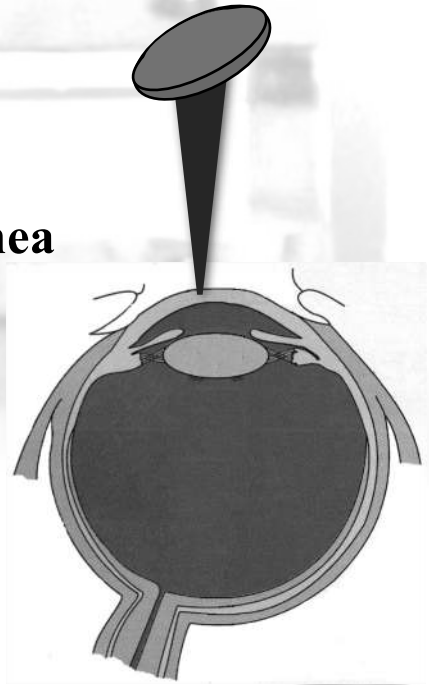
Current equipment :

Cornea operation:

Surface patterning by laser ablation



Cornea

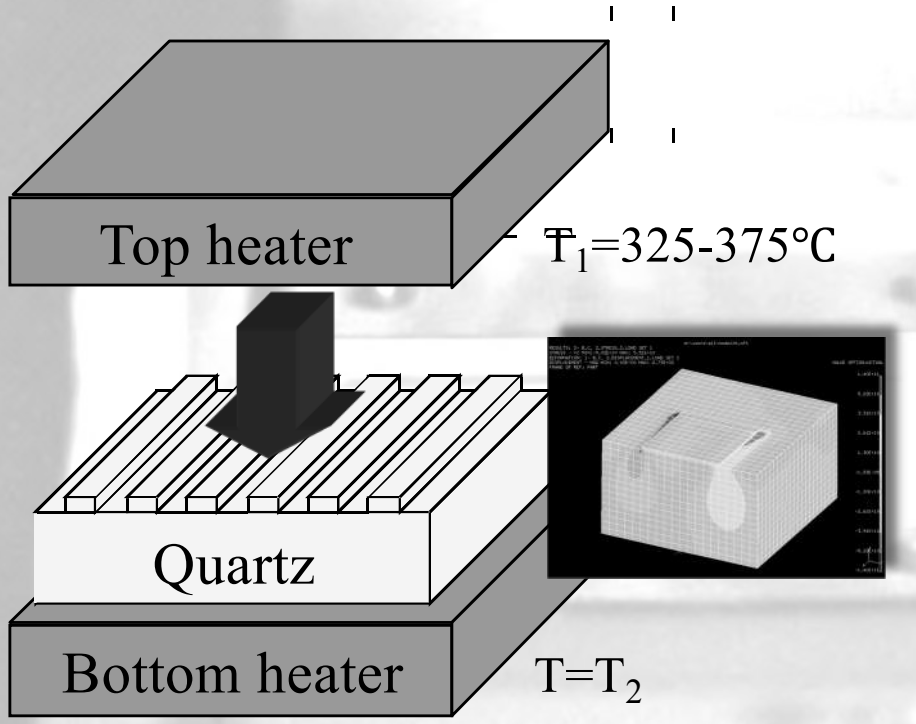


- **Replacement of large-volume toxic excimer lasers**
- **More than million operation in US**

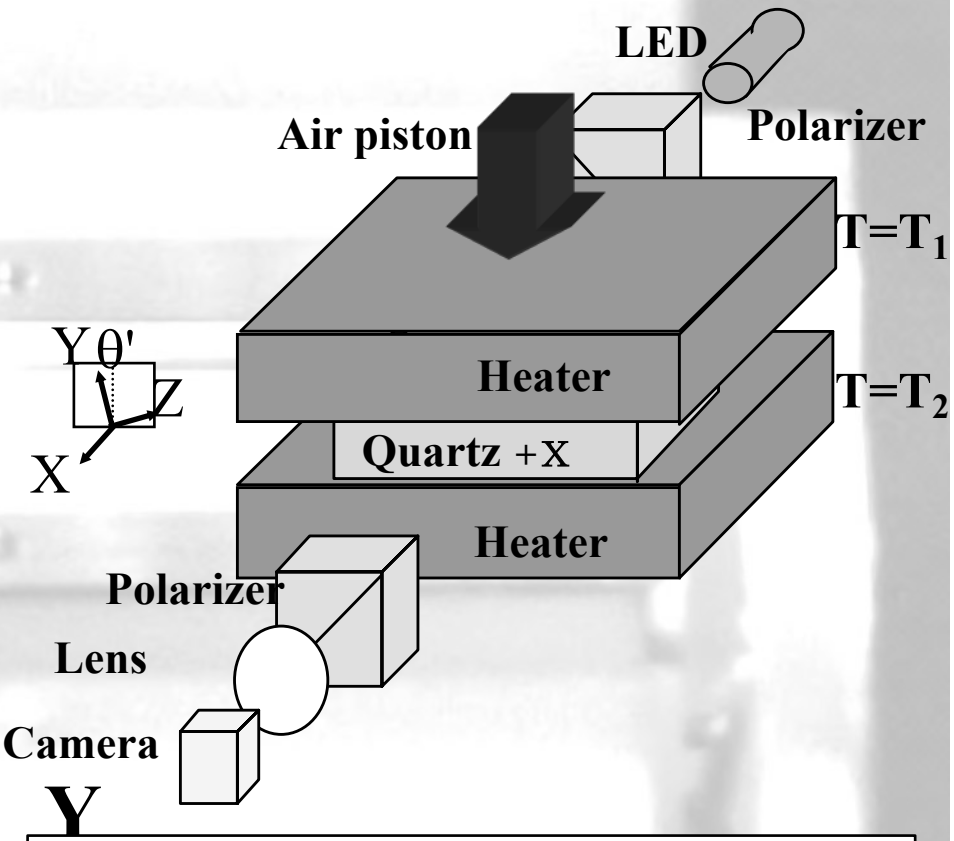
National Institute for Materials Science (NIMS), Japan
Sunao KURIMURA

Fabrication method

- **Patterned quartz**



- **In-situ observation of twinning**



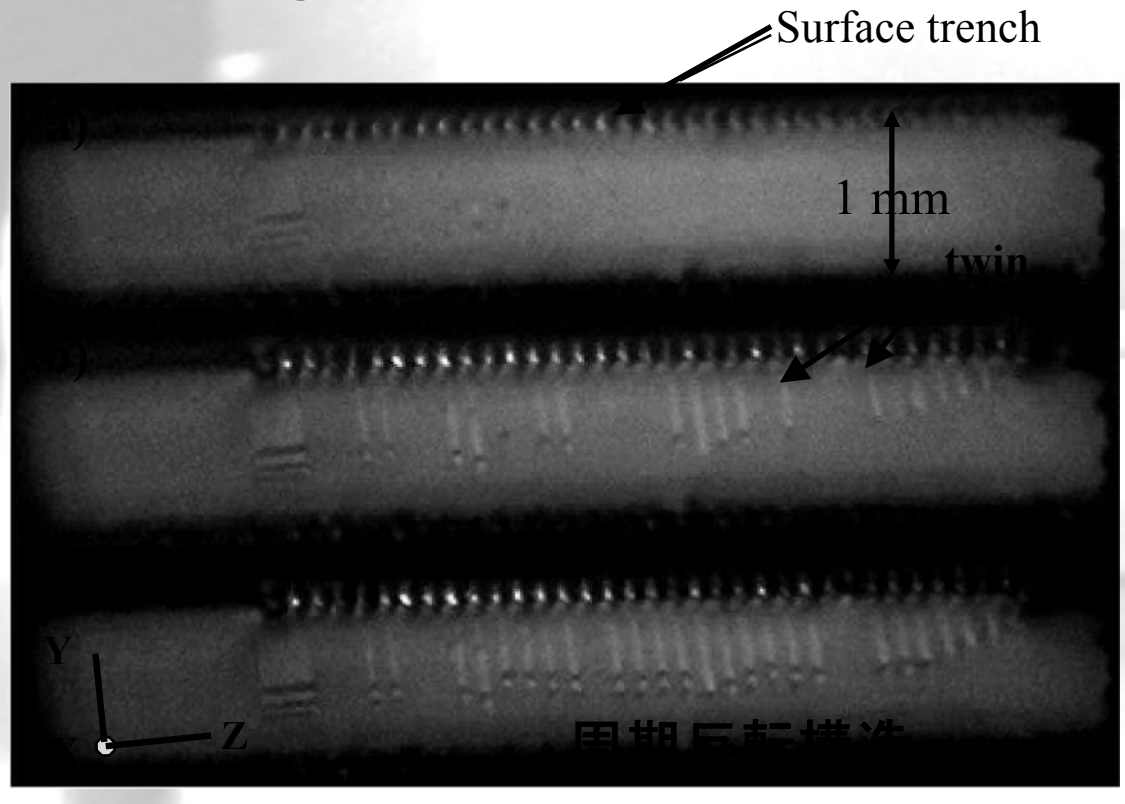
- **Photolithography & dry etching**
- **Stress : ~200 MPa**
- **Twin nucleation from top surface**

- **monitored twinning process**

National Institute for Materials Science (NIMS), Japan
Sunao KURIMURA

In-situ observation of twinning

- **Real-time image**



- Period: 125 um
- Stress : 160 MPa
- Temperature : 375 C

S. Kurimura et al. (invited): Opt. Mat. Exp., vol. 1 (2011)p.1367.

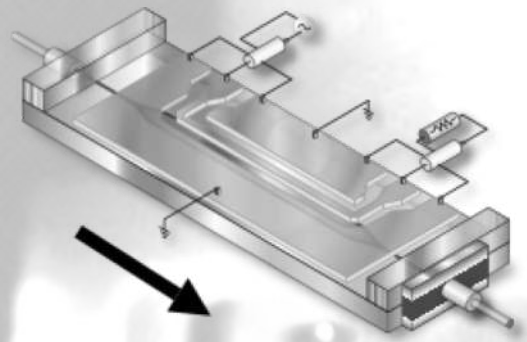
National Institute for Materials Science (NIMS), Japan
Sunao KURIMURA

分極反転の光電融合への応用

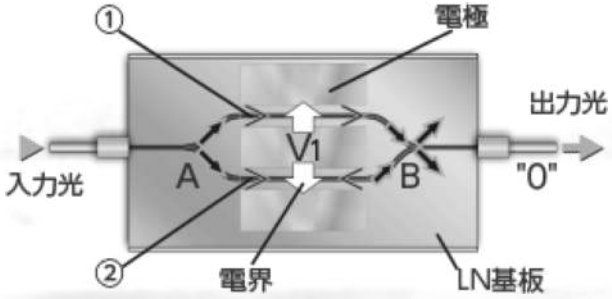
National Institute for Materials Science (NIMS), Japan
Sunao KURIMURA

分極反転LN変調器

- マッハツェンダー強度変調器の構造

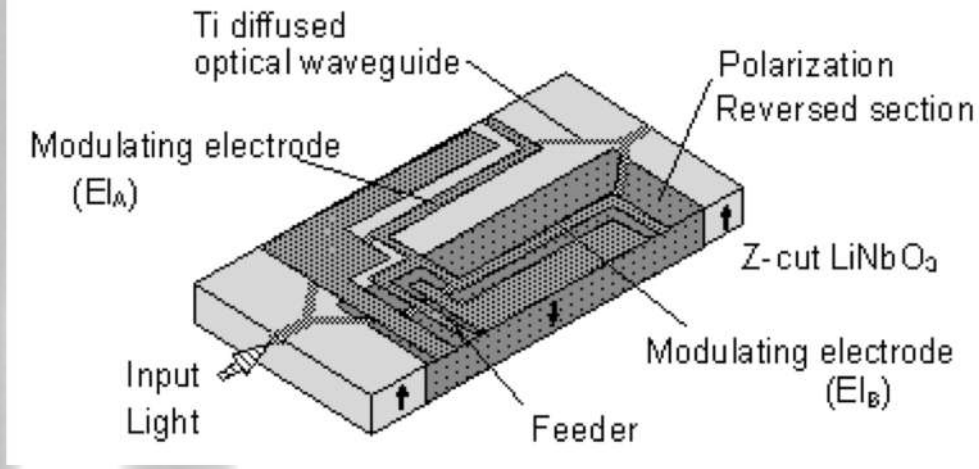


従来は非対象構造→信号にチャープ



対象構造はr33が有効利用できず
Footprintが大きい

- 分極反転変調器（w/ 住友大阪セメント）



- 対象構造が造れる
  → ゼロチャープ
- r33を有効に使える
  → 短尺化
- Z方向の一様電界が使える
  → 小型化

S. Oikawa, J. Ichikawa, S. Kurimura et al.
J. Lightwave Technol. **23**, 2756- (2005)

変調器+もつれ光子発生

- もつれ光子発生領域 をEO位相変調領域で挟む構造

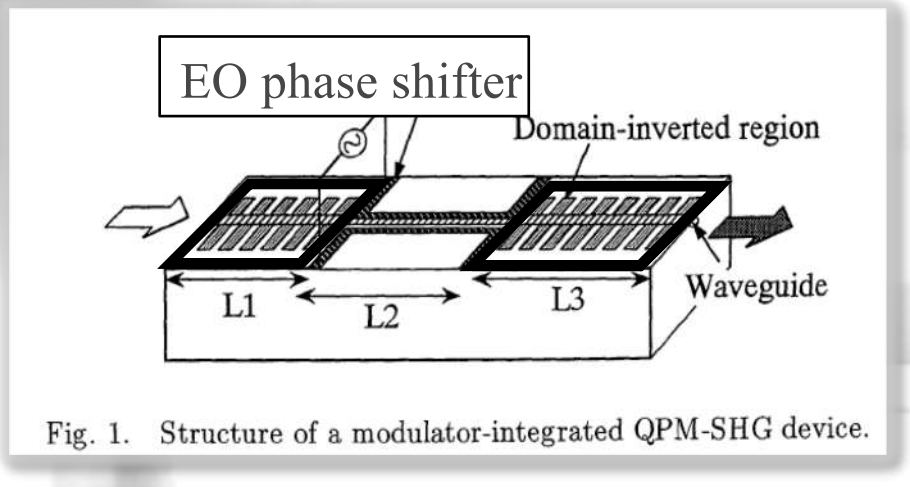


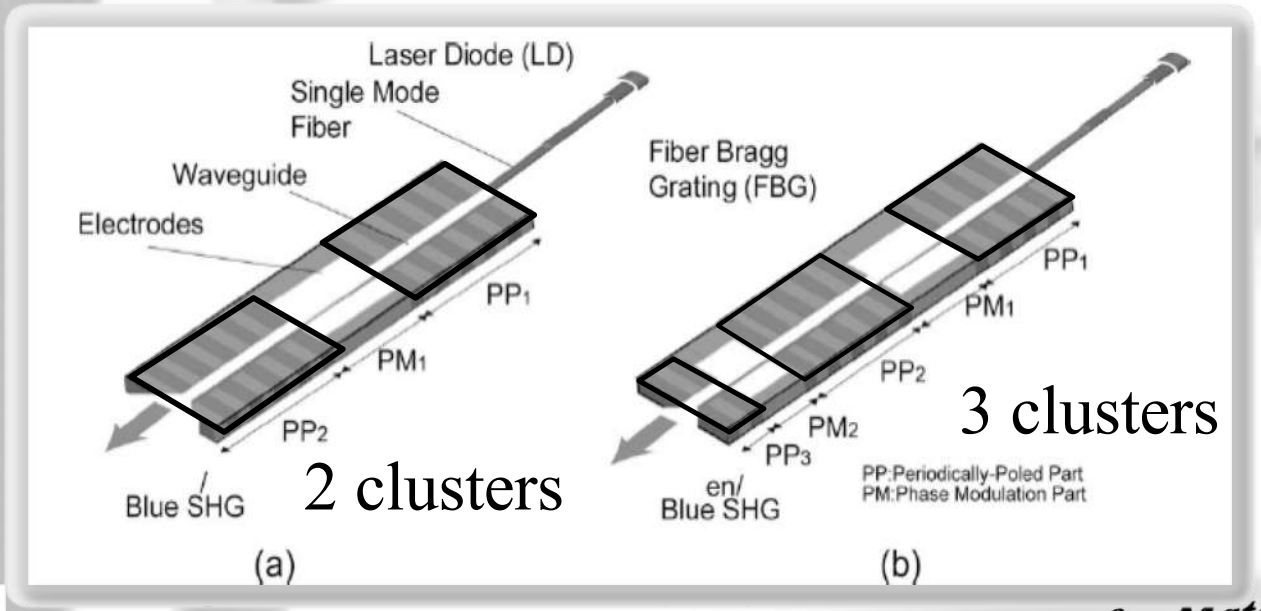
Fig. 1. Structure of a modulator-integrated QPM-SHG device.

- QPM領域L1，L3でもつれ光子発生
- 相対位相をL2の電界で調整
- もつれ光子のON/OFF

r_{33} -> $-r_{33}$

cf. d_{33} -> $-d_{33}$

S. Kurimura, JJAP 1994



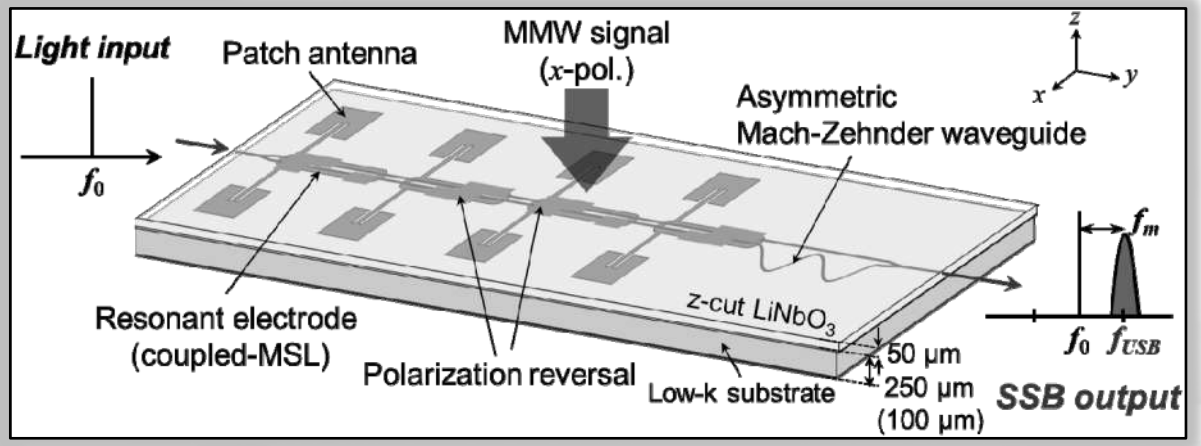
- SHGにおいて実験的に実
- 相対位相をL2の電界で調
- 3分割で残渣ゼロに

Y. Oki et al., Opt. Lett.2006

分極反転によるE0機能のデザイン

- **光電変換デバイス**

H. Murata, JJAP 2018



r_{33} -> $-r_{33}$

cf. d_{33} -> $-d_{33}$

- **変調器集積化デバイス**

S. Kurimura, JJAP 1994

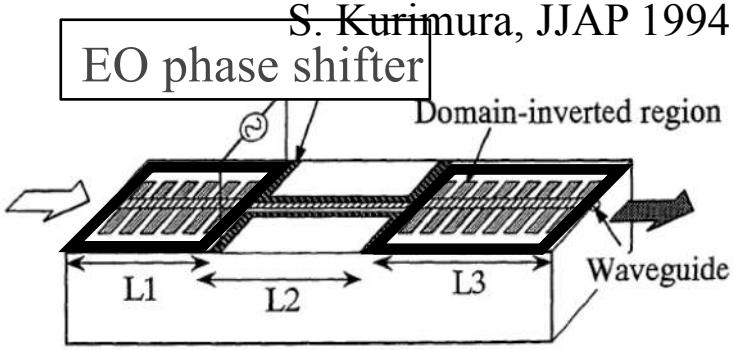
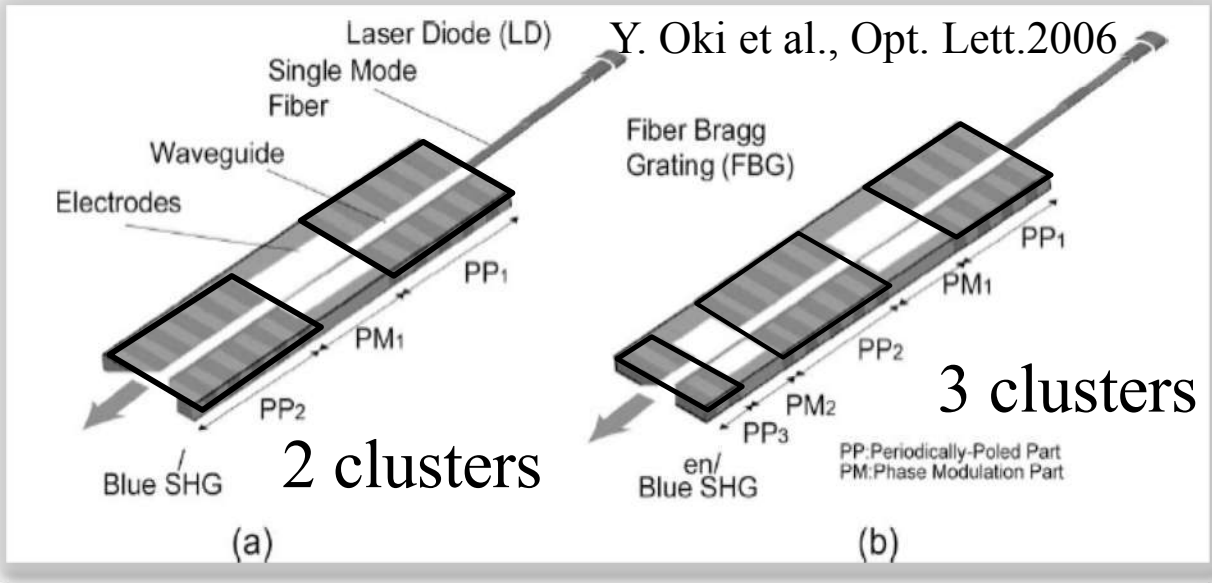


Fig. 1. Structure of a modulator-integrated QPM-SHG device.

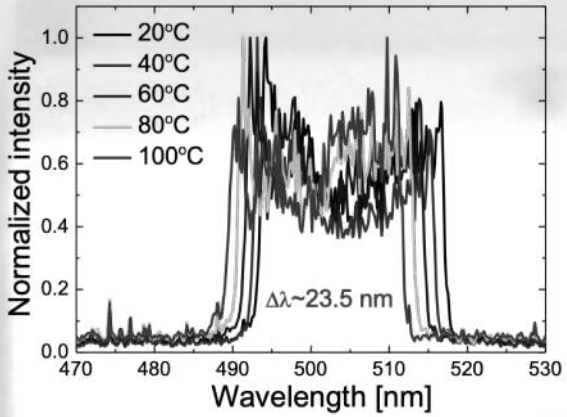
Y. Oki et al., Opt. Lett.2006

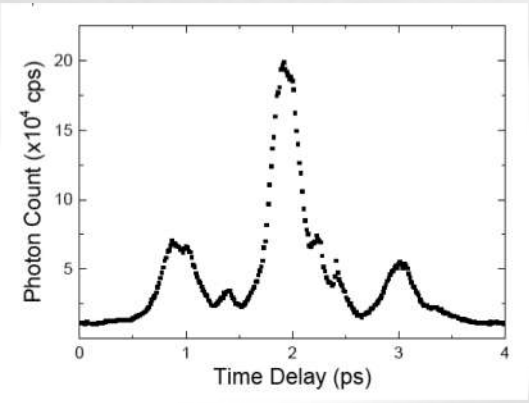


National Institute for Materials Science (NIMS), Japan
Sunao KURIMURA

Summary

- 分極反転デバイスの進展
  - 帯域設計による高機能化→ノイズ低減
  - 導波路構造による高効率化
  - 波長設計性による応用範囲の拡大
  - 量子タイムゲートへの広がり
  - 真空紫外への展開





National Institute for Materials Science (NIMS), Japan
Sunao KURIMURA