

時間分解スペクトルホールバーニング法による ^{167}Er 超微細構造のエネルギー緩和時間測定

濱崎 妙子¹、松崎 善太郎¹、尾身 博雄²、安井 翔一郎^{3,4}、足立 智³、稲葉 智宏⁴、Xuejun Xu⁴、俵 毅彦¹

¹日本大学大学院工学研究科、²大和大学理工学部、³北海道大学大学院工学院、⁴NTT物性科学基礎研究所

1.研究背景と目的

量子情報通信とは？



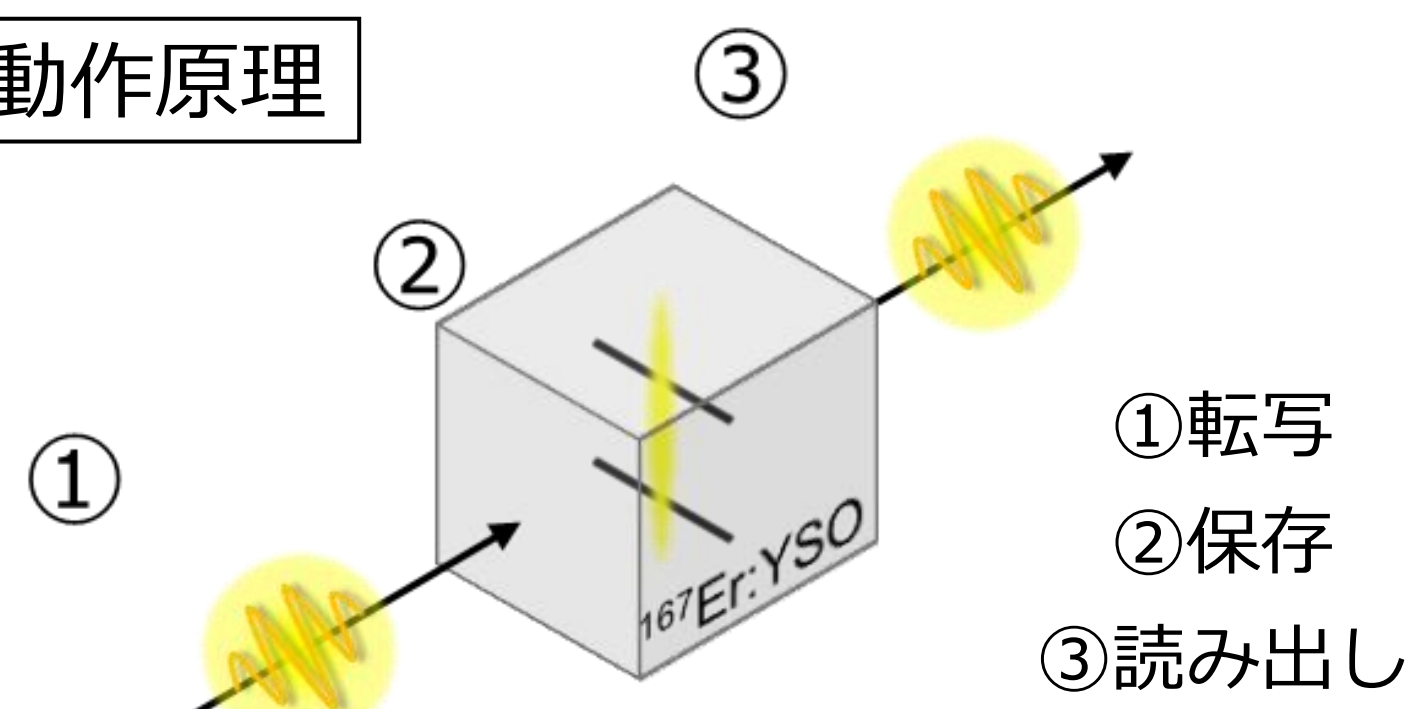
問題点：光子は200 km程度で減衰してしまう...

広域通信のためには量子中継器が必要不可欠

量子中継器の心臓部

光子量子メモリが未だ確立していない

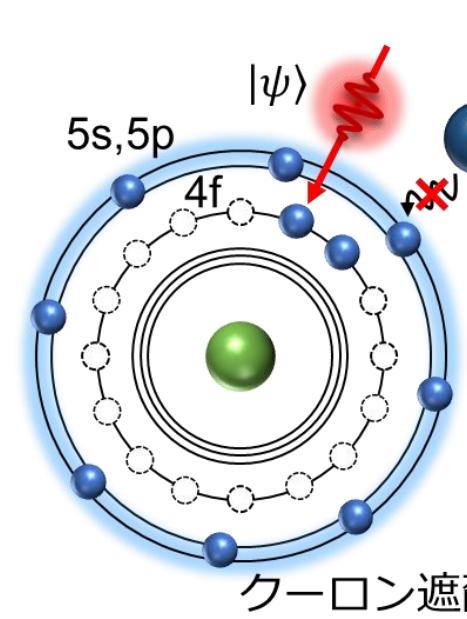
動作原理



光子量子メモリへの要請

- 長いコヒーレンス(メモリ)時間
- 通信波長帯(~1.5 μm)でアクセス可能
- 固体材料

光子量子メモリの材料 $^{167}\text{Er}^{3+}:\text{Y}_2\text{SiO}_5$ ($^{167}\text{Er}:\text{YSO}$)結晶を用いる



候補	冷却原子[1]	ダイヤモンド NVセンター[2]	希土類添加結晶[3]	同位体	核スピン
				^{164}Er	0
				^{165}Er	0
				^{166}Er	0
				^{167}Er	7/2
				^{168}Er	0
				^{169}Er	0

- 内殻の4f軌道が不完全充填
- 外部からの擾乱の影響を受けにくい
- Erは唯一通信波長帯でアクセス可能 etc..

研究目標

$^{167}\text{Er}:\text{YSO}$ 結晶を使った光子量子メモリの確立

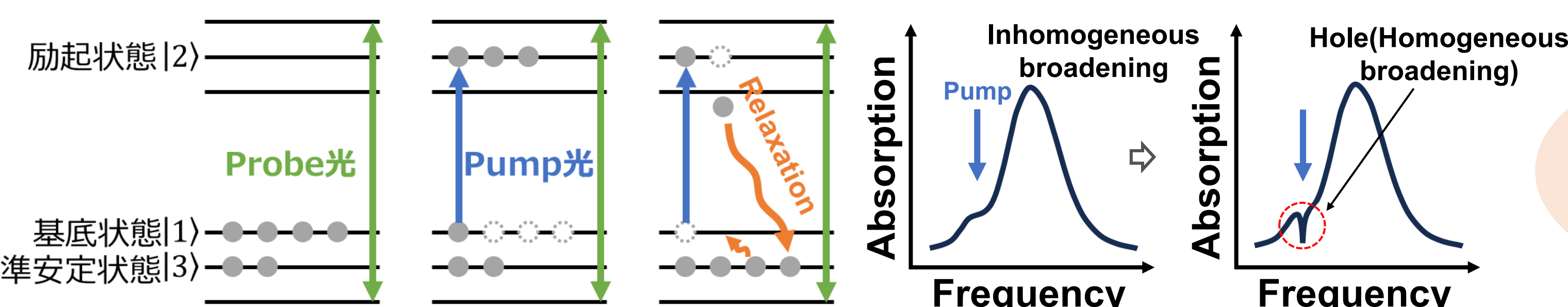
$^{167}\text{Er}:\text{YSO}$ 結晶内電子のダイナミクスの解明

[1] S. Ritter et al., Nature 484, 195 (2012)
[2] G. Mariani et al., AIP Adv. 12, 065321 (2022)
[3] M. Hiraishi et al., Opt. Lett. 44, 4933 (2019)

2.原理・実験方法

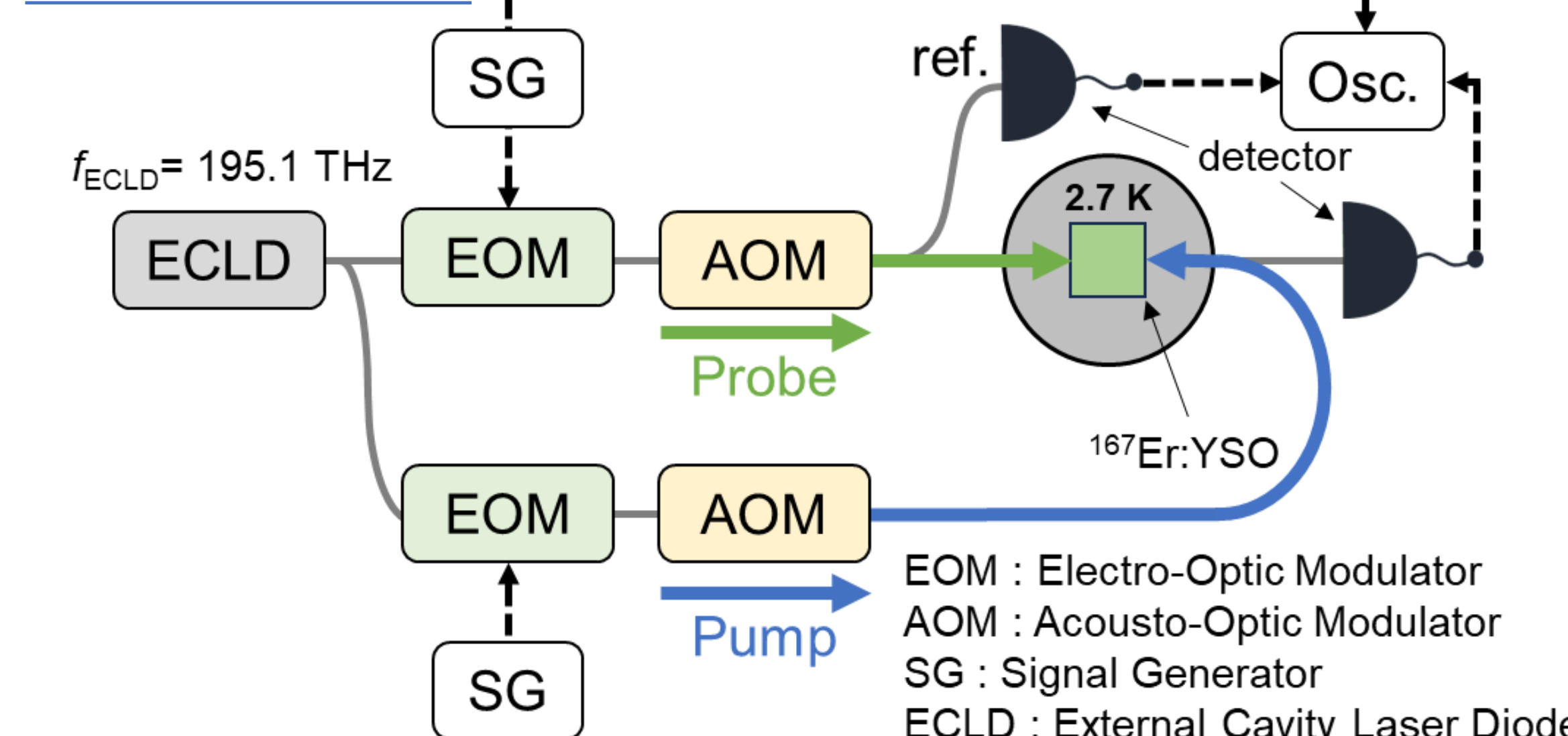
周波数領域での測定

スペクトルホールバーニング(SHB) → 吸収飽和分光の一種、高分解能な分光法



- 均一幅を観測可能
- 特定のHF準位のSHB測定を実現

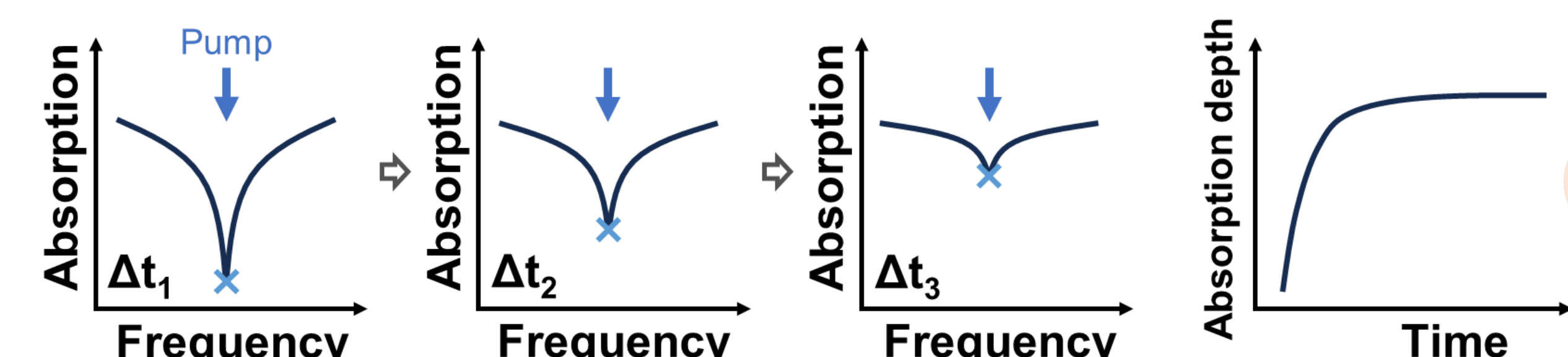
TR-SHB測定系



EOM : Electro-Optic Modulator
AOM : Acousto-Optic Modulator
SG : Signal Generator
ECLD : External Cavity Laser Diode

時間領域での測定

時間分解スペクトルホールバーニング(TR-SHB) → 特定のエネルギー準位の寿命や緩和過程をホールの時間変化から解析する分光法



- ホールの時間発展を観測可能
- 特定のHF準位の T_1 測定を実現

測定試料

成長方法：Czochralski(Cz)法

- ^{167}Er metal 濃縮度：96 %
- 添加濃度：0.001 % (10 ppm)
- Y_2SiO_5 高純度 SiO_2 , Y_2O_3 パウダー

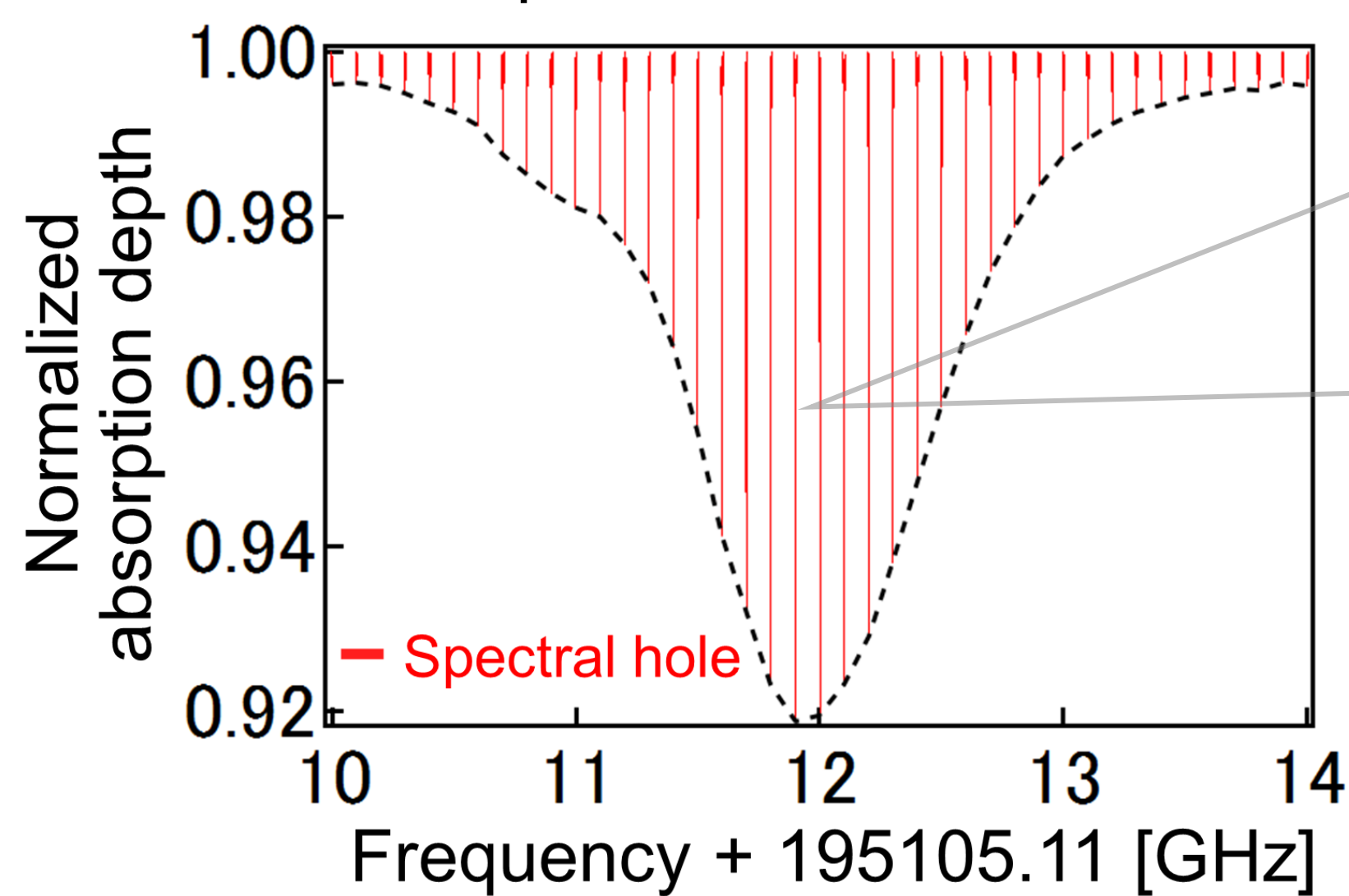


$^{167}\text{Er}^{3+}:\text{YSO}$ インゴット

3.結果と考察

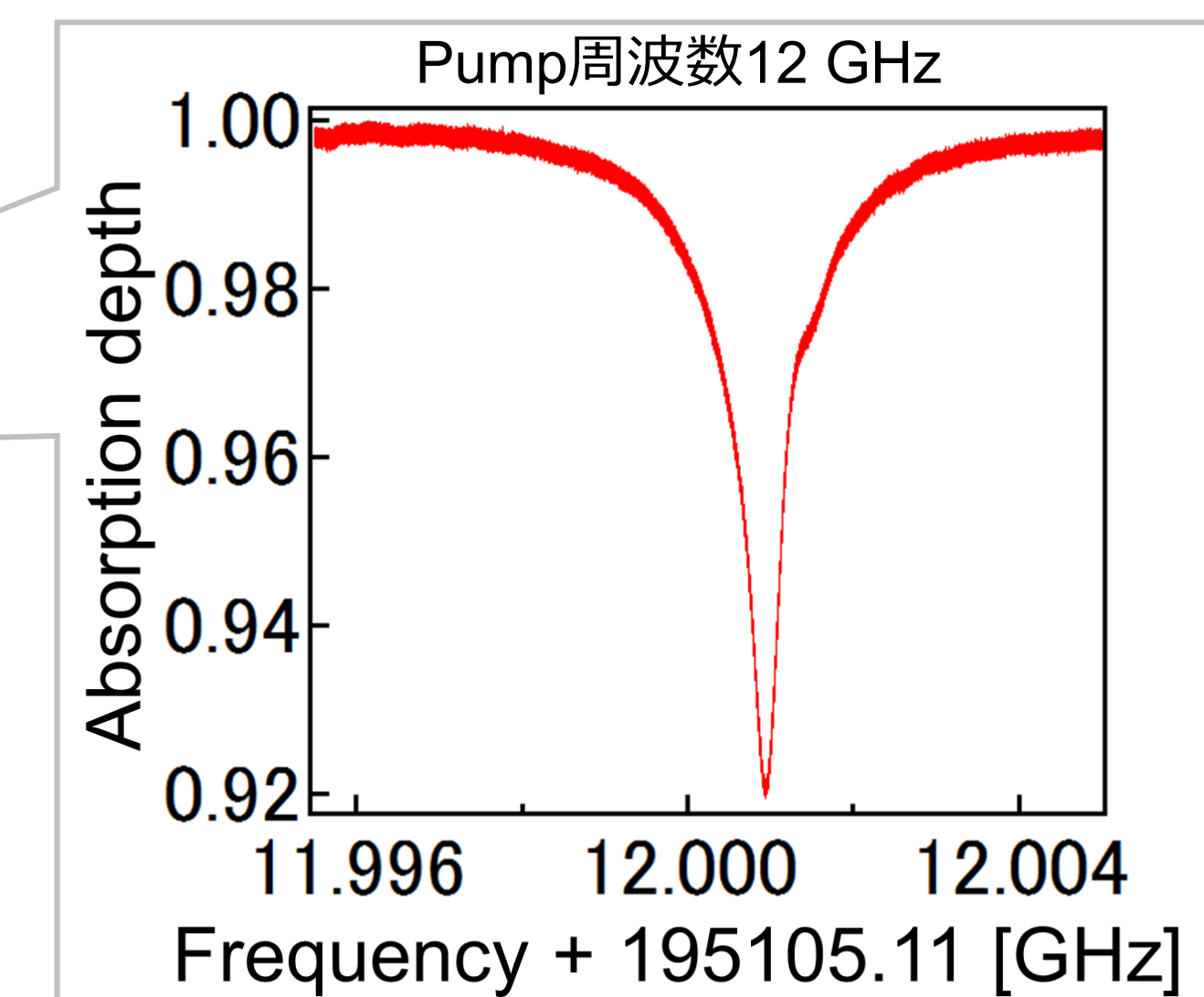
SHB

◇ホールのPump周波数依存性



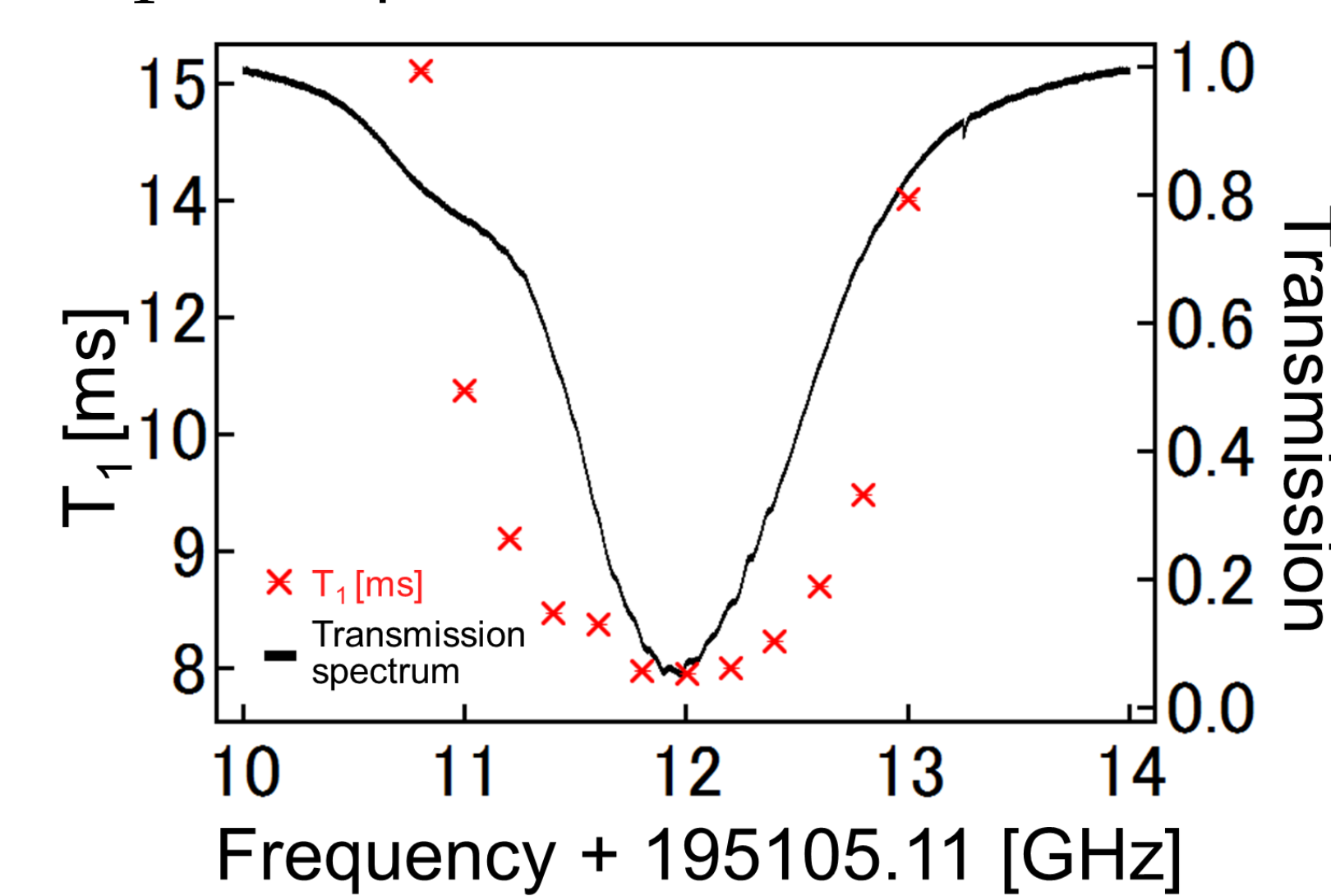
測定条件 Probe Power : 750 nW
Pump Power : 100 μW

◇ホールスペクトル



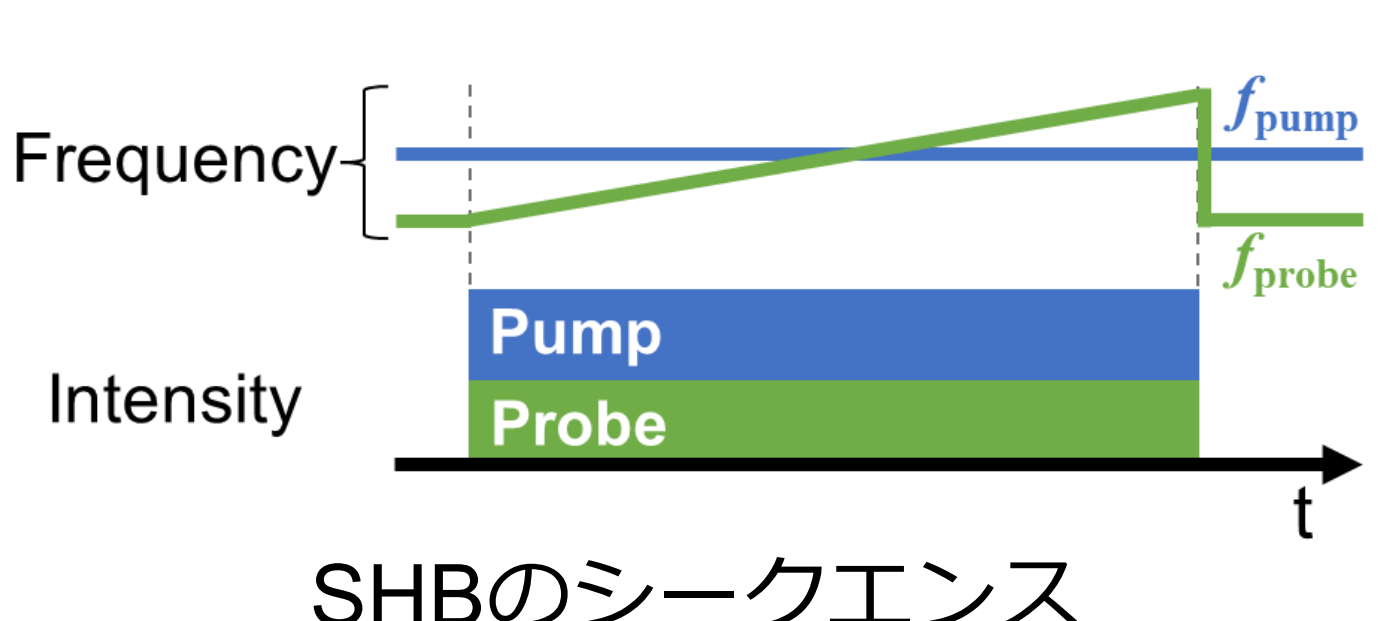
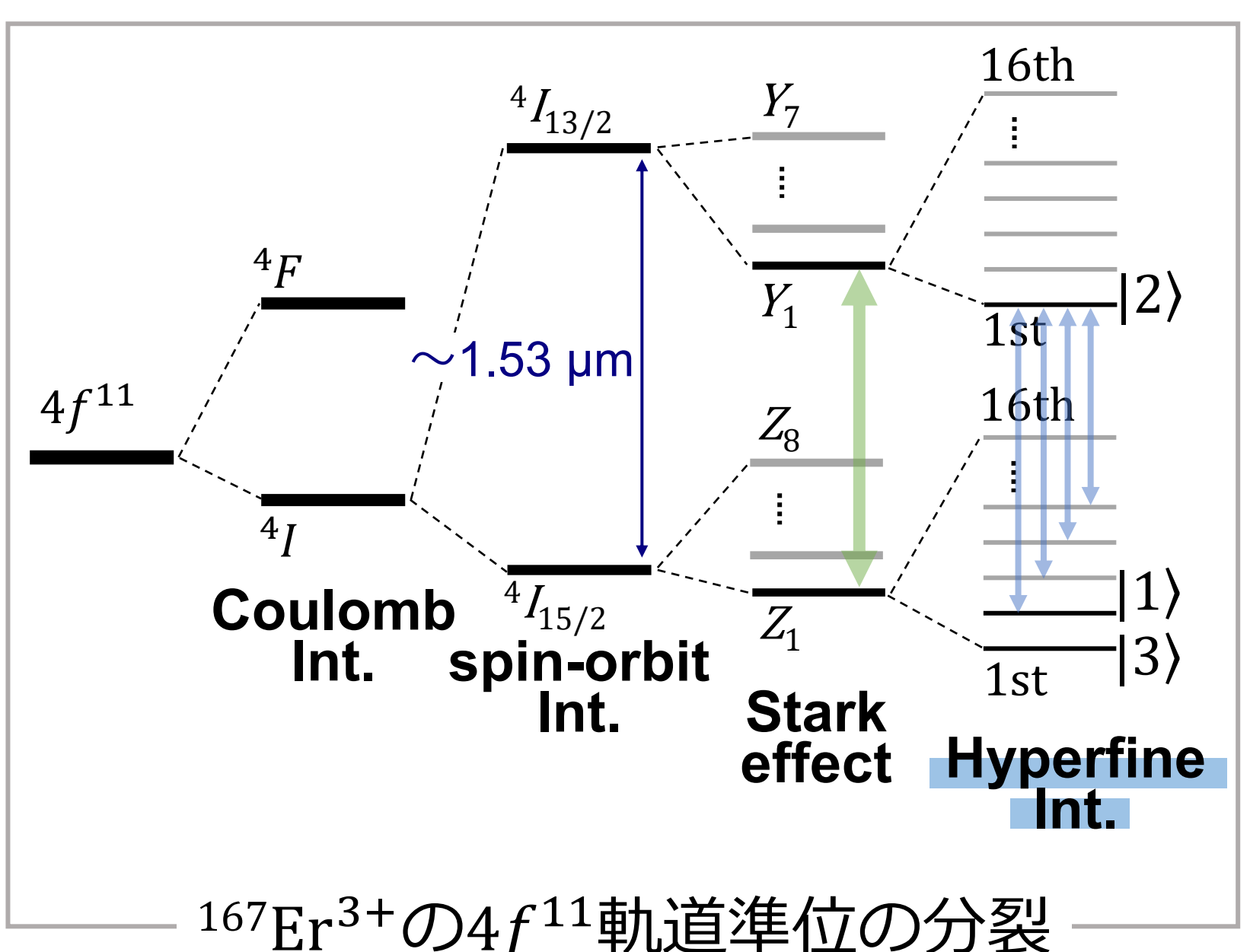
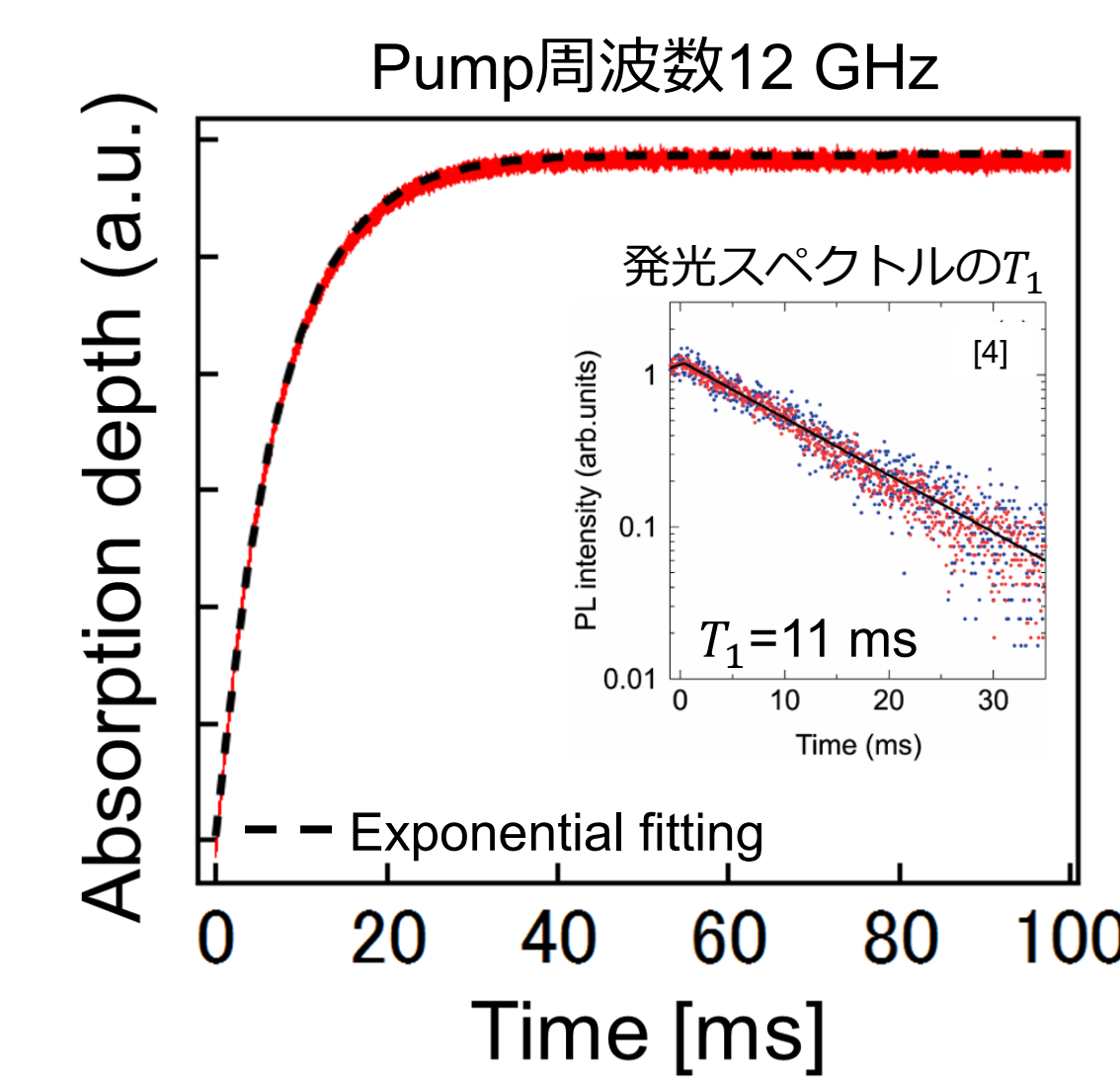
TR-SHB

◇ T_1 のPump周波数依存性及び透過スペクトル



測定条件 Probe Power : 100 nW
Pump Power : 25 μW

◇TR-SHBスペクトル



- HF準位間のSHB測定が可能に！
- 均一幅の重ね合わせが不均一広がり
のスペクトル形状を直接反映！

周波数 [GHz]	T_1 [ms]
10.8	15.16
11.0	11.07
11.2	9.17
11.4	8.21
11.6	8.06
11.8	7.46
12.0	7.43
12.2	7.50
12.4	7.85
12.6	8.55
12.8	9.73
13.0	13.51

T_1 の算出式

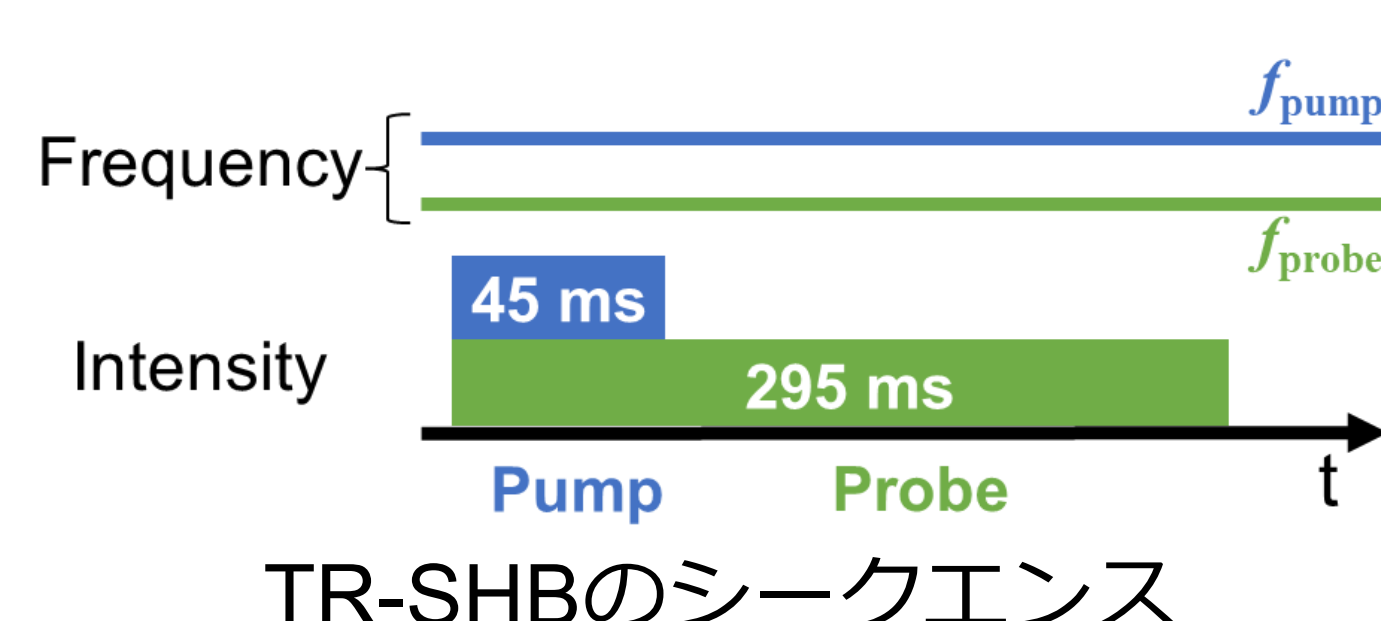
Single exponential fitting

$$y = A \exp\left(-\frac{\text{Time}}{T_1}\right)$$

Pump周波数

10.8 GHzの時 $T_1=15.1$ ms

12.0 GHzの時 $T_1=7.43$ ms



- 各HF準位の T_1 の測定に成功！
- 各HF準位の T_1 は遷移双極子
モーメントを反映している

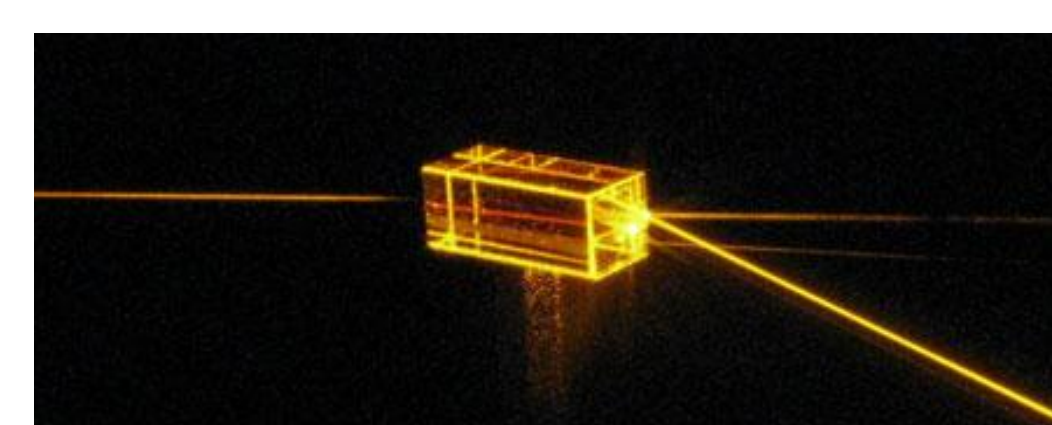
4.まとめと今後の展望

まとめ

- 不均一広がりとのホールの関係
- 各HF準位の T_1 の測定
- $T_{1,\text{max}}=15.1$ ms, $T_{1,\text{min}}=7.43$ ms を測定

今後の展望

- TR-SHBにてアンチホールの T_1 の測定
- フォトンエコーにて T_2 の測定
- ^{167}Er のポピュレーションダイナミクスの評価



$^{167}\text{Er}:\text{YSO}$ 結晶を使った光子量子メモリの確立