

EUVレーザーを用いた 固体の時間分解分光

猿倉信彦、古川裕介、村上英利、西村博明、三間囿興
(大阪大学レーザーエネルギー学研究センター)

田中桃子、錦野将元、山谷寛、永島圭介、木村豊秋
(日本原子力研究機構関西光科学研究所)

鏡谷勇二、Dirk Ehrentraut、福田承生
(東北大学多元物質科学研究所)

* M. Tanaka *et al.*, Appl. Phys. Lett., (2007) Dec.



EUVリソ開発で おおきく進展した EUV工学

それをベースにEUV科学の展開

たとえば

新物質・新材料の開発の指針となる分光学

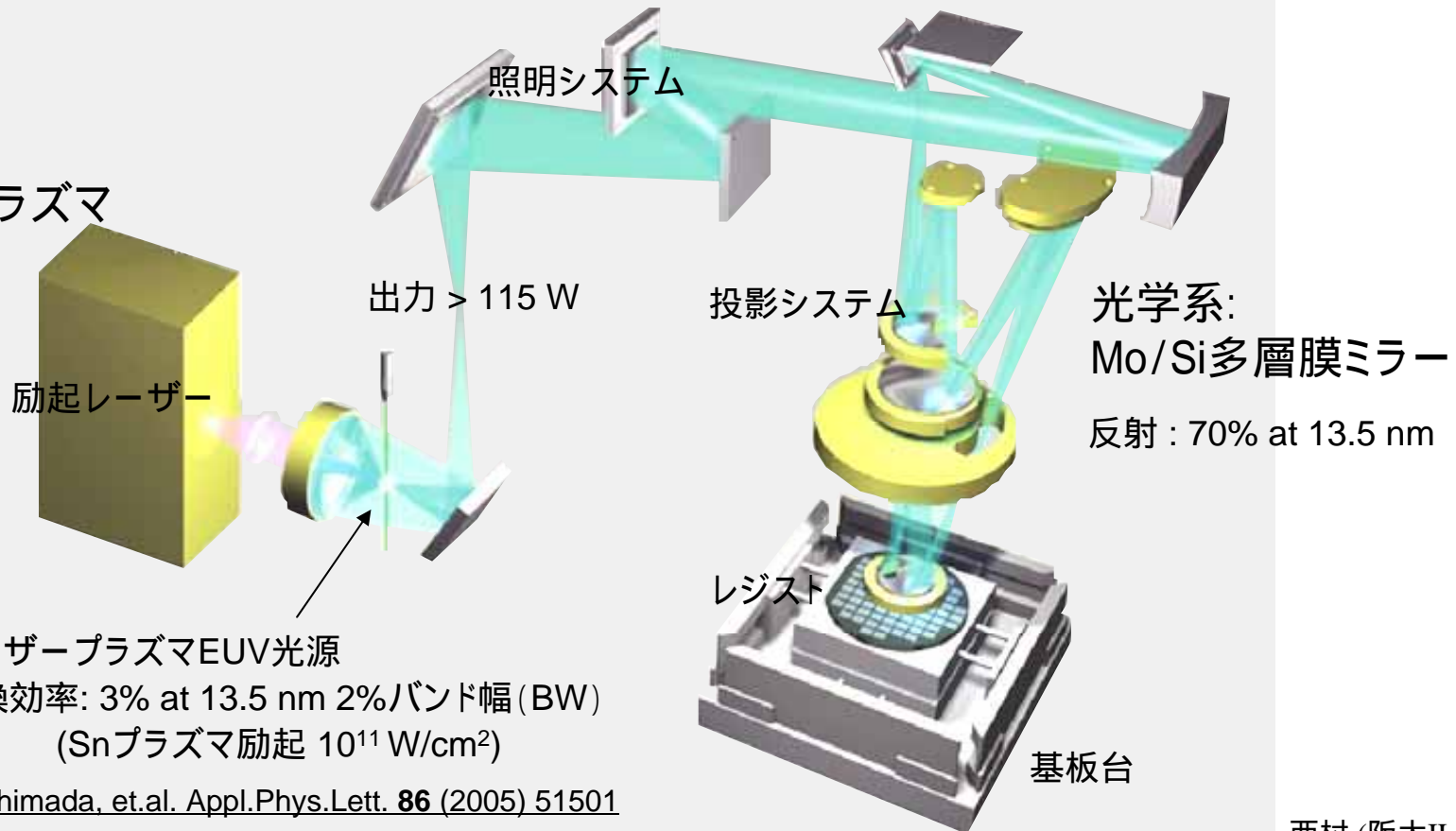
その出口イメージ

EUV・VUV工学に提供できる素材開発

FELやHHG、EUVレーザー、放射光の
展開方向性と補完的 協調的

EUVリソグラフィの基盤技術

EUV 光源:
Snレーザープラズマ



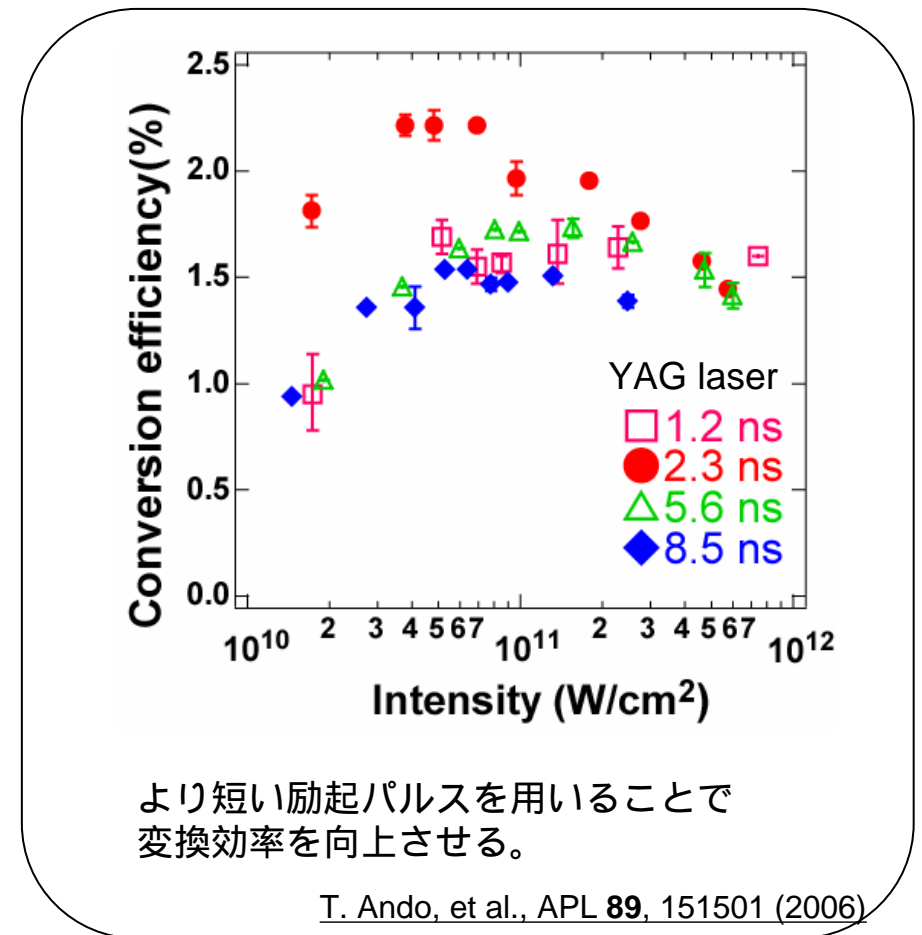
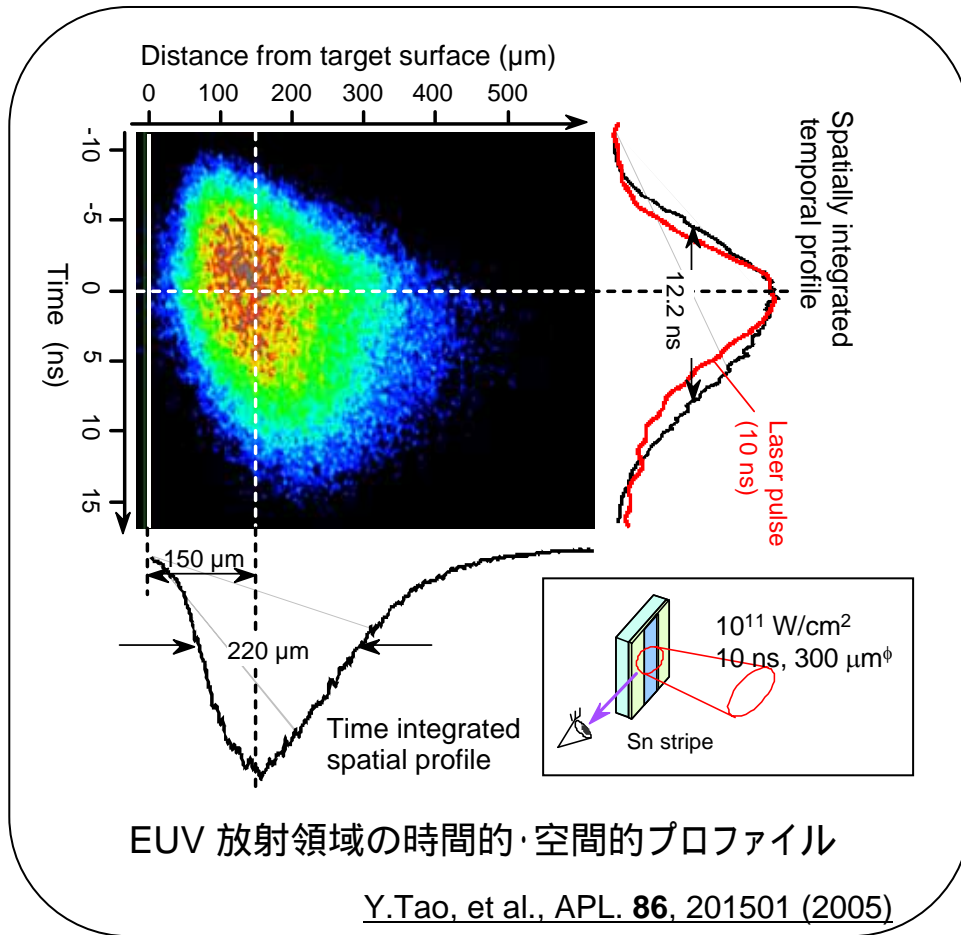
西村 (阪大ILE)

EUVリソグラフィ应用到に不可欠なデバイス

→ 効率的かつ高速な イメージングシンチレータ (13.5 nm: 十分な大きさ)

リソグラフィ用のEUV 光源

EUV 光源用の励起レーザー : YAG, CO₂ など.

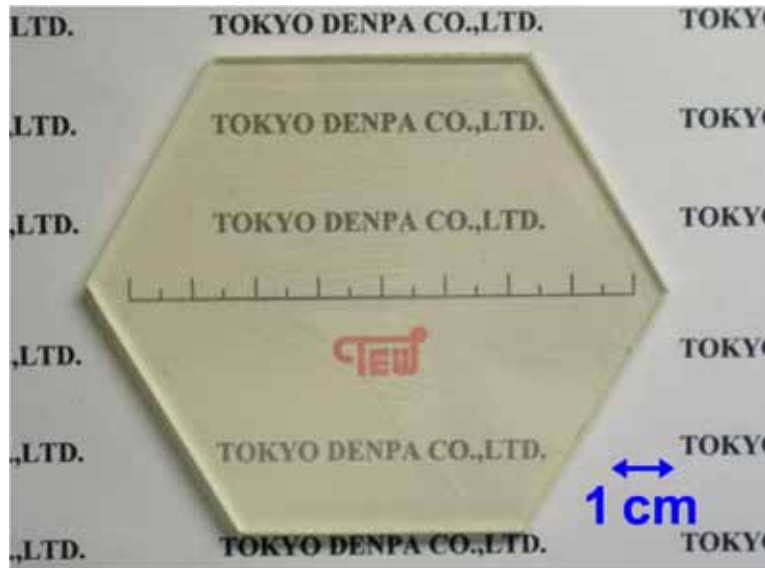


西村 (阪大ILE)

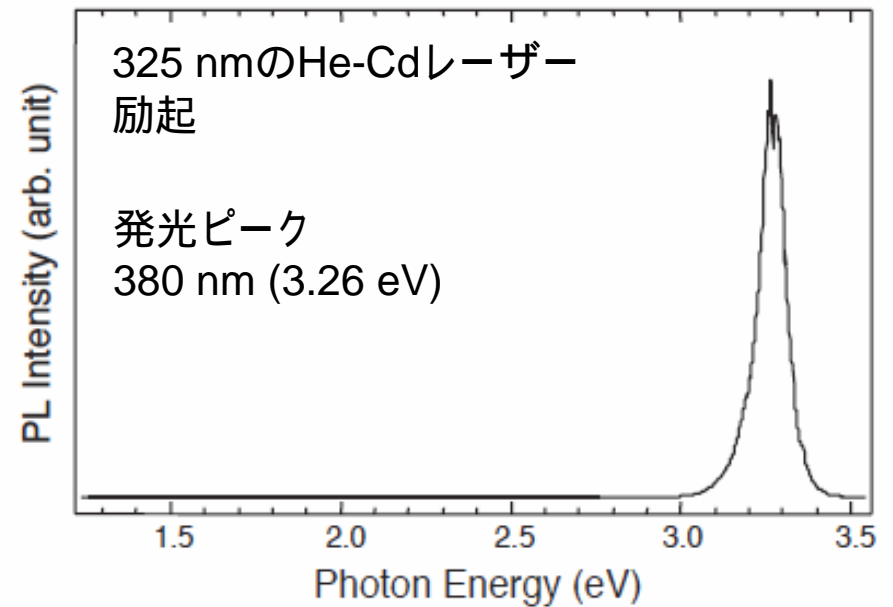
EUVリソグラフィ用シンチレータの時間分解能 : ナノ秒は必要

水熱合成法成長ZnOの単結晶

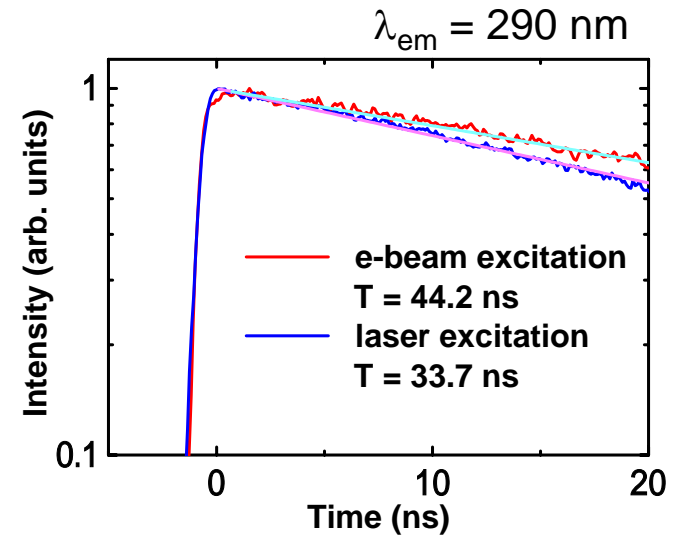
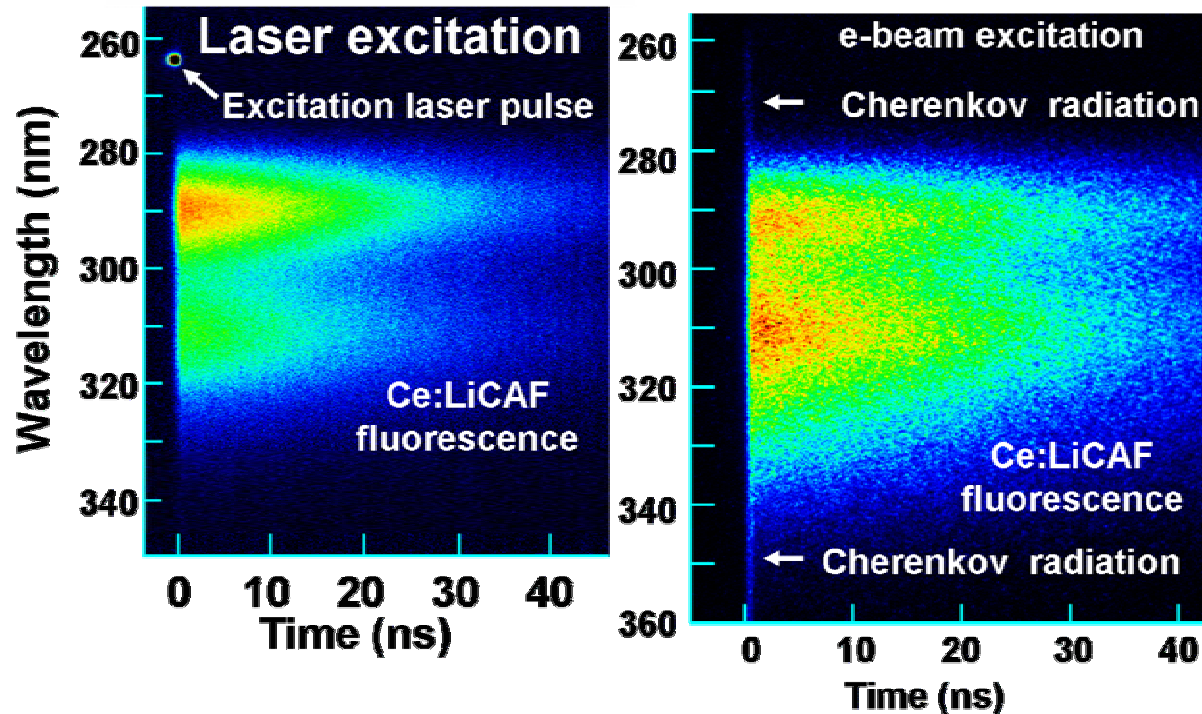
- 利点 ・短い発光寿命時間 ~1 ns.
- ・利便性のある発光波長 (ガラス透過).
- ・3インチ径までの大型単結晶.



水熱合成法成長ZnO結晶



高エネルギー励起の例 (Ce:LiCAF)



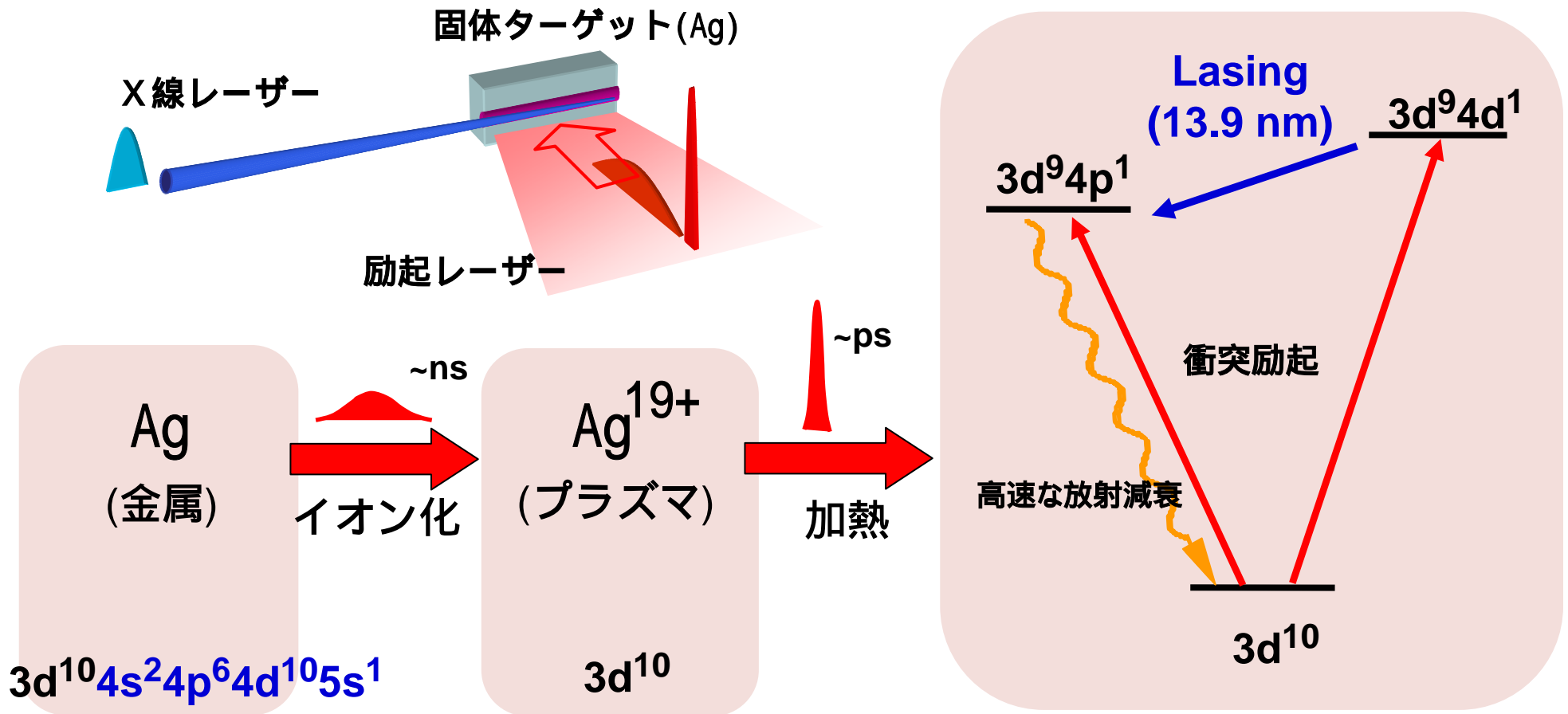
Y. Suzuki, et.al. Appl.Phys.Lett. **80** (2002) 3280.

電子ビーム励起 Ce:LiCAFの場合：発光寿命はより長くなった。



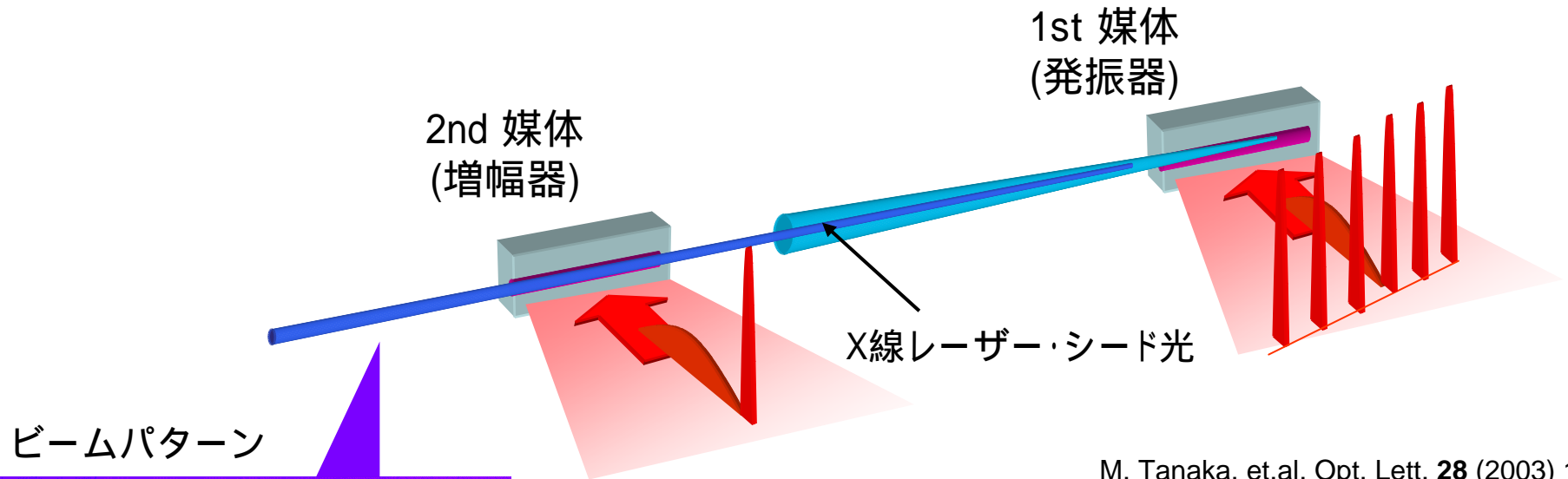
シンチレータ応用を考えると、材料の発光特性は異なった励起光源を用いても全く同じようである必要がある。

シンチレータ評価のためのコヒーレントEUV光源: Niライク Ag X線レーザー



13.9 nmのX線レーザーは衝突励起方式により放射される。

2つの利得媒体によるX線レーザービーム線幅の改良



M. Tanaka, et.al. Opt. Lett. **28** (2003) 1680.

波長 13.9 nm

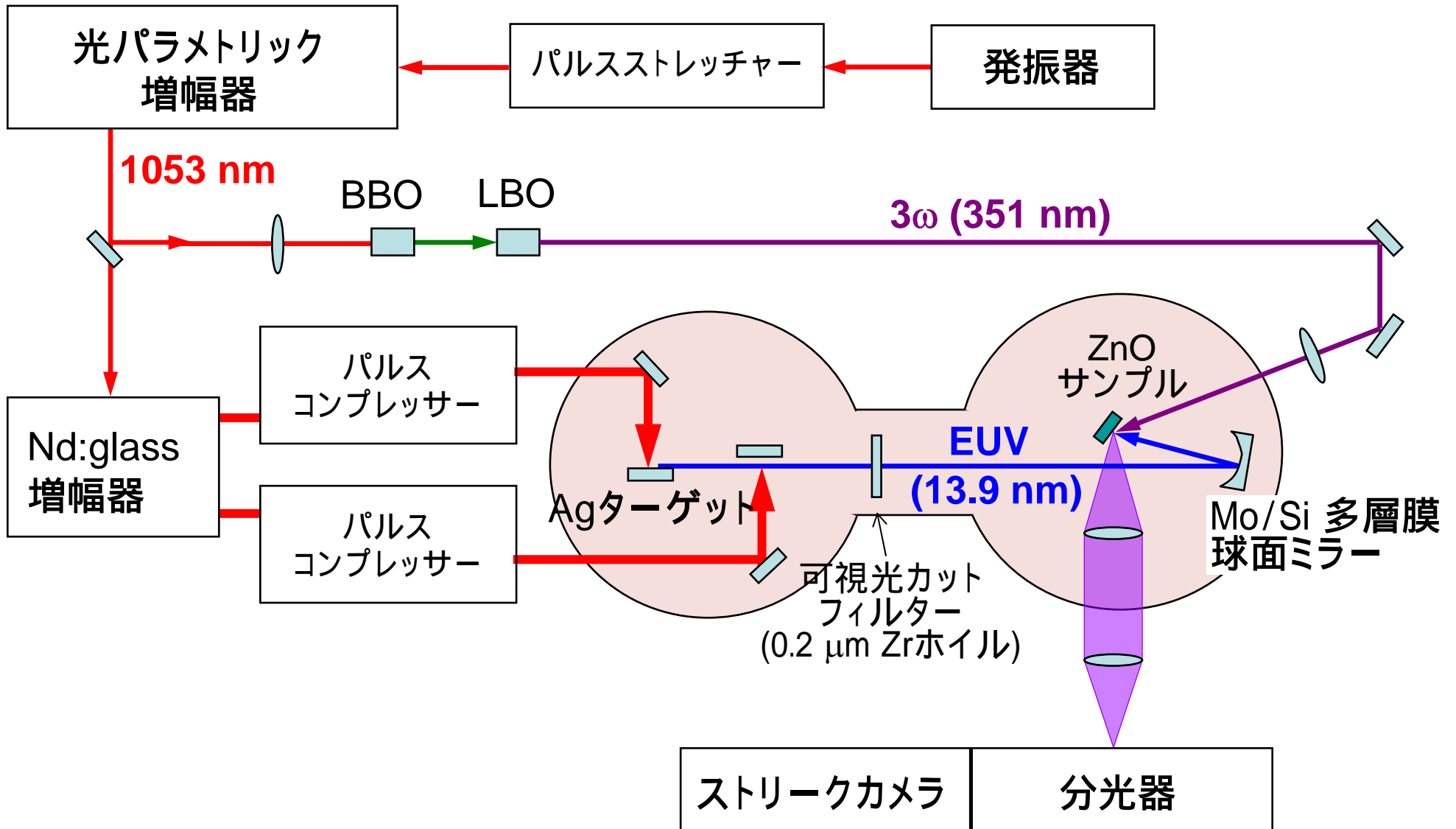
パルス幅 7 ps

パルスエネルギー 500 nJ/pulse (3.5×10^{10} photons/pulse)

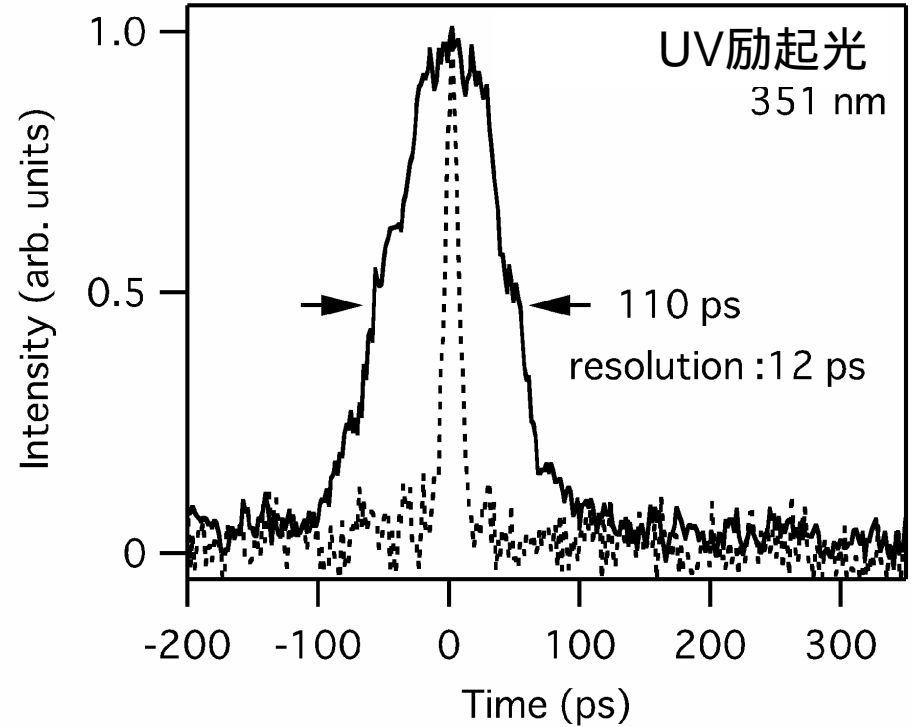
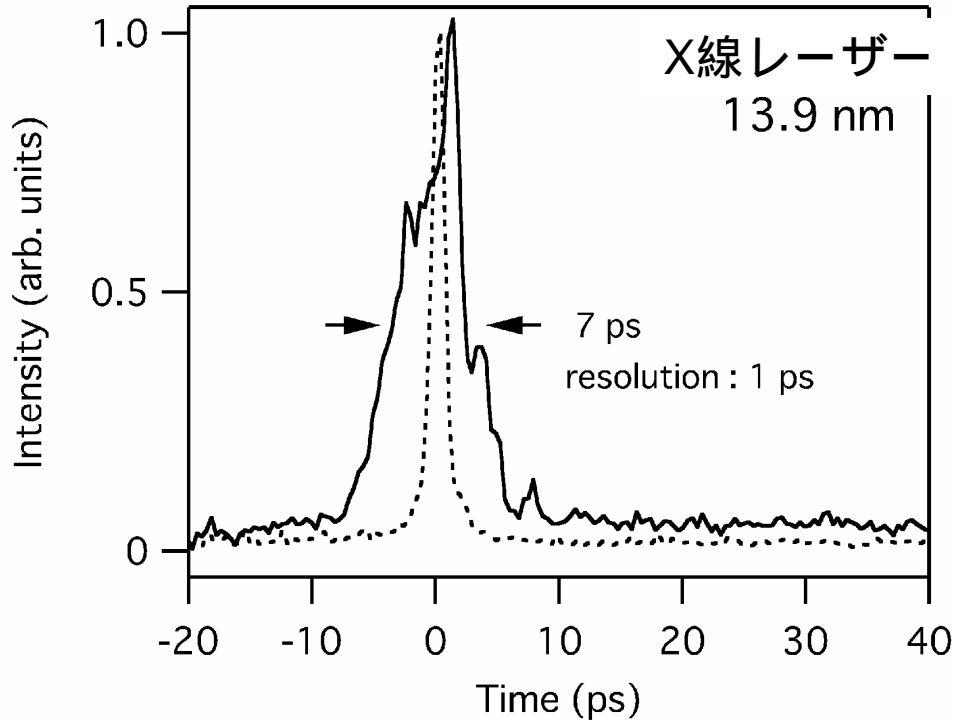
ピーク強度 2×10^{25} photons/(s · mm² · mrad² · 0.1%BW)

ショット間隔 1 shot / 20 min

EUV・UV励起用の実験装置



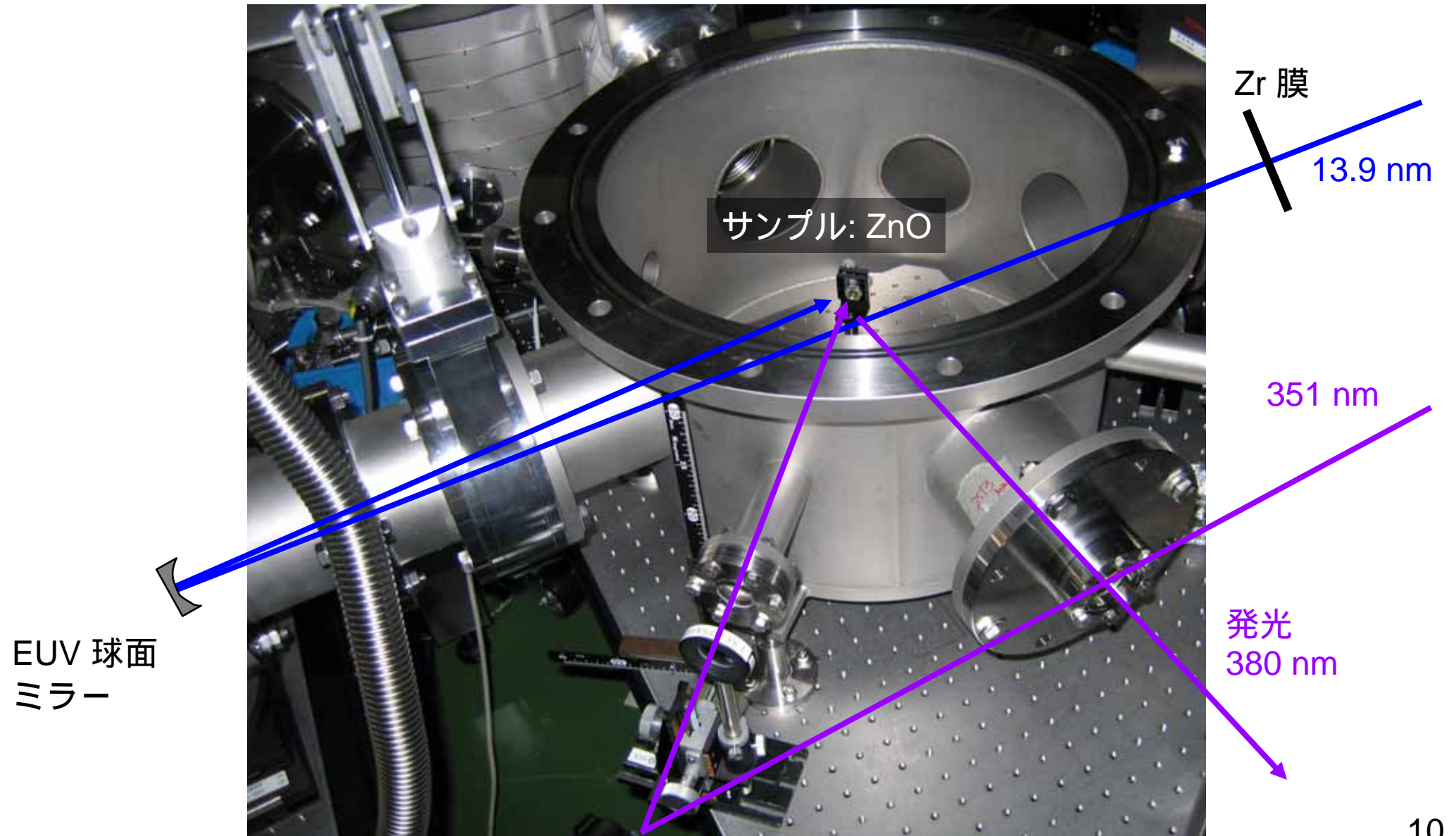
励起パルスの時間波形



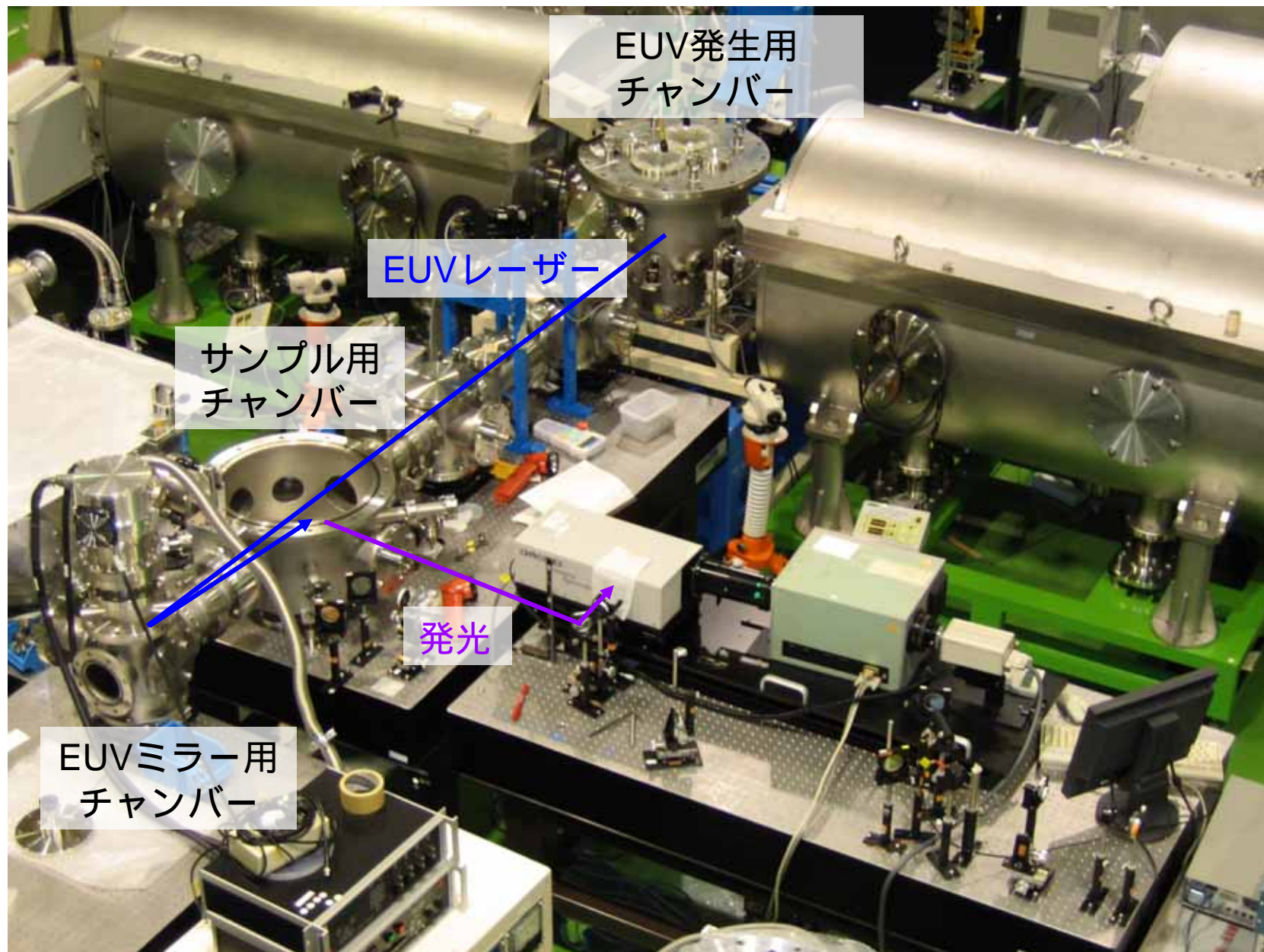
実線 : 光源の時間波形
点線 : 装置関数

X線レーザー励起の時間分解能 7 ps.

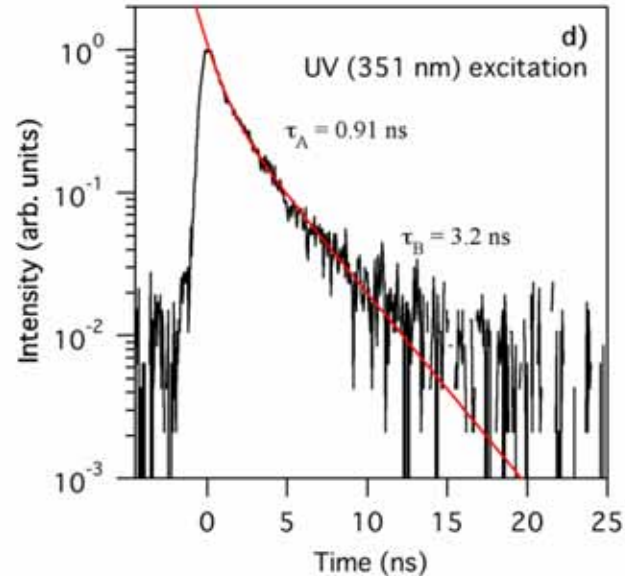
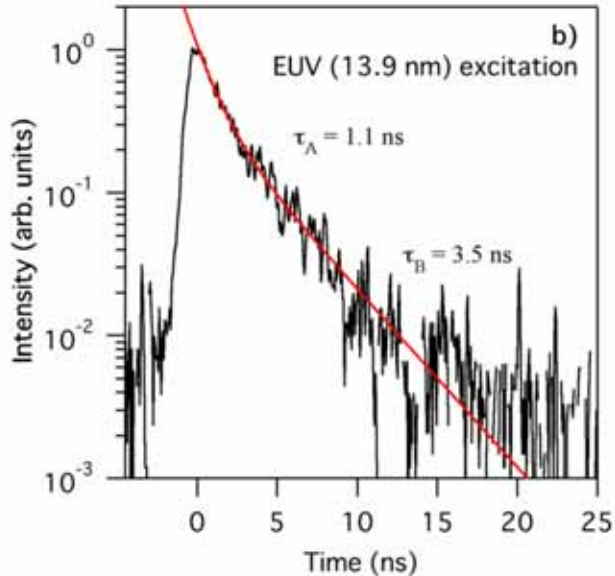
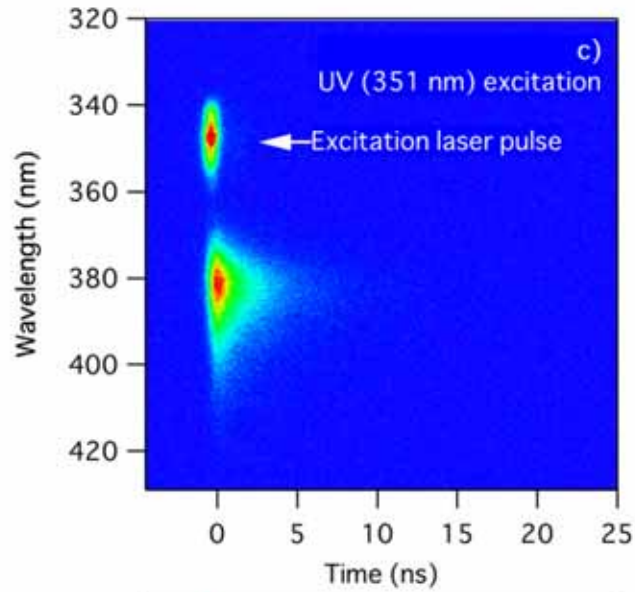
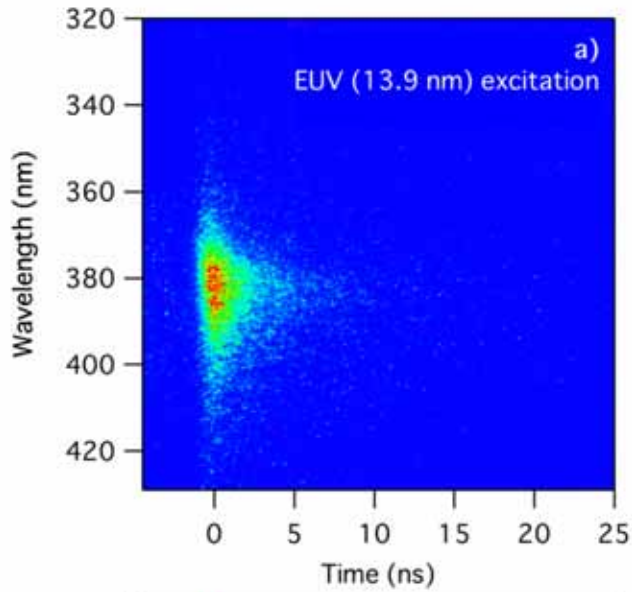
測定用チャンバー



実験装置の概観



ZnO結晶の時間分解発光スペクトル

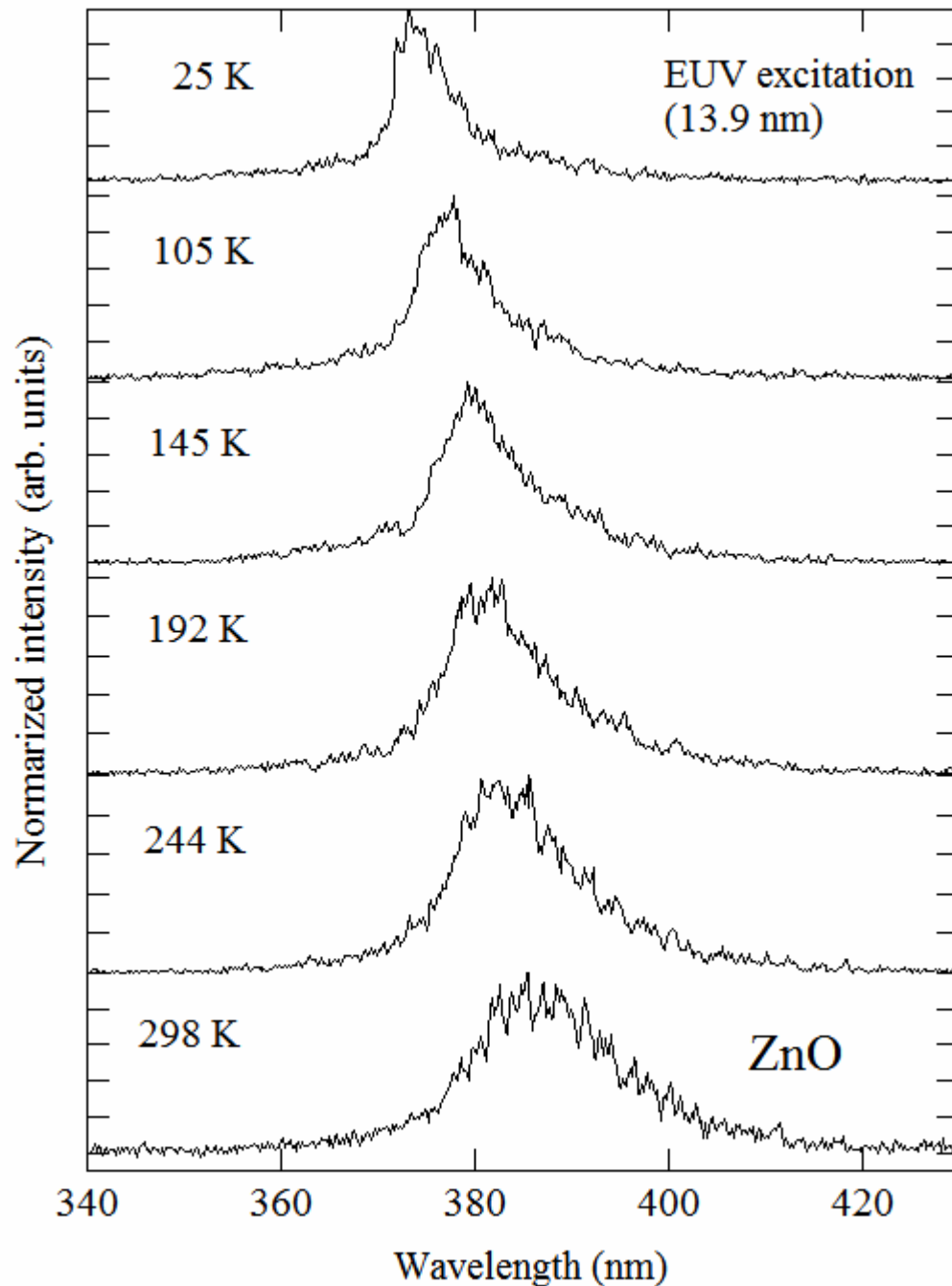


発光の様子は
両方似ている。



ZnO結晶は、有望なシンチレータ材料である。

Emission Spectra



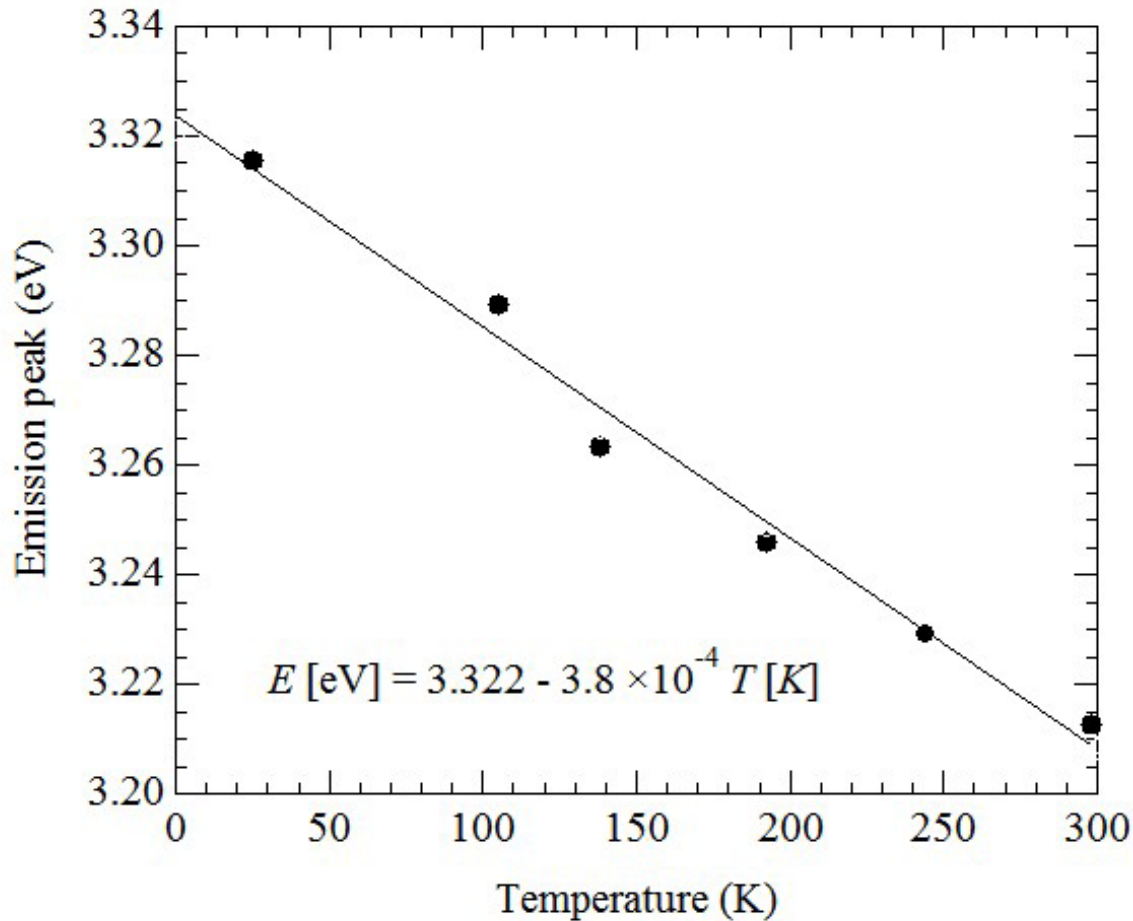
Peak positions

FWHM

25K: 374 nm
105K: 377 nm
145K: 380 nm
192K: 382 nm
244K: 384 nm
298K: 386 nm

6nm
8nm
10nm
12nm
15nm
16nm

Peak position vs. Temperature

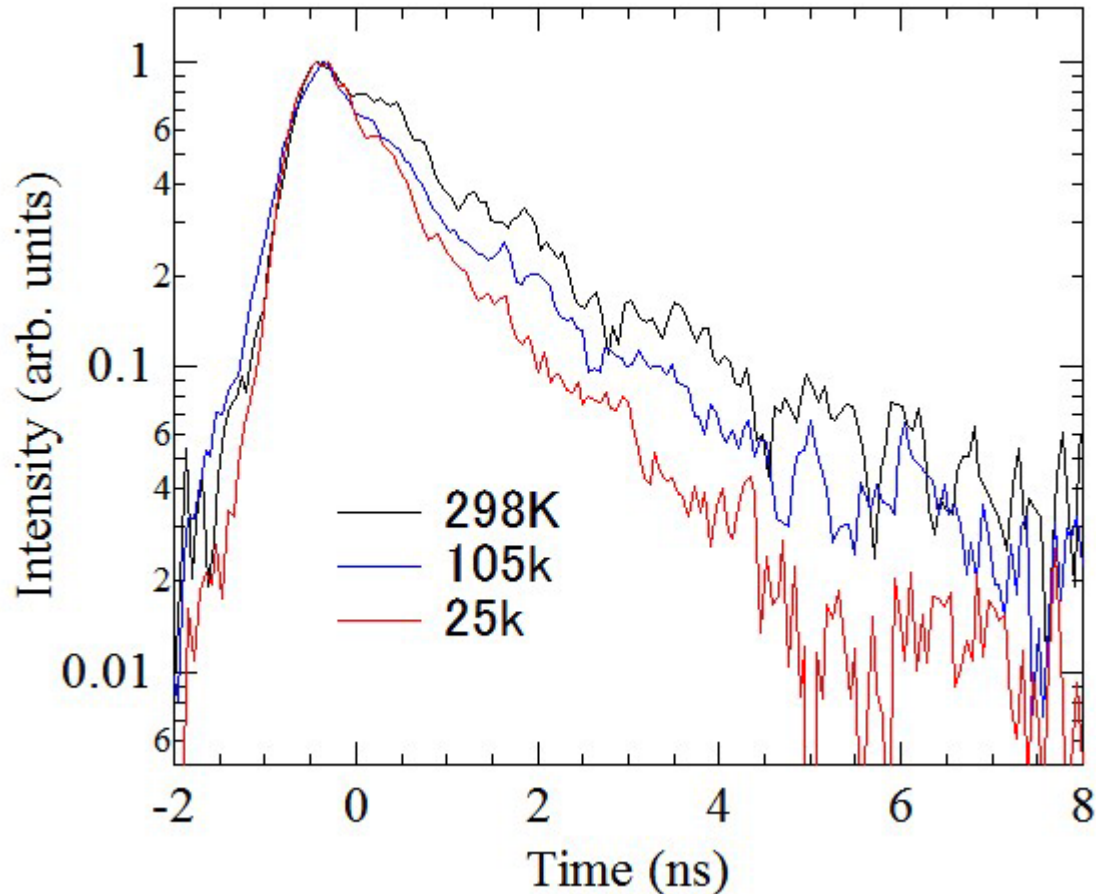


Peak position linearly depends on temperature

This peak shift is similar to the work on band-gap shift of ZnO [Houschild et al. phys.stat.sol. **3,976**(2006).]

Decay curves

Temporal profiles of ZnO emission at different temperature



Below 105 K
Decay rate becomes faster

Two exponential decay
fast decay time
- free exciton emission
slow decay time
- trapped carriers

[Willinson et al., Radiat. Meas. **38**, 501 (2004).]

Summary

本研究では、EUV領域シンチレータ材料としてのZnOの優れた特性を明らかにした。ZnOの応答時間は短く、数ナノ秒のEUVリソグラフィ光源を計測するのに十分である。水熱合成法で作製された大型ZnO結晶は3インチ径まで利用でき、次世代リソグラフィ・イメージング応用上で大変有望である。また、NiライクAg X線レーザーは、次世代リソグラフィ応用に向けた材料のスペクトル評価における優れたツールであることが示された。

この研究は「ペタワットレーザー駆動による単色量子ビームの科学」のMEXTプロジェクトの支援を受けた。またこの結果はJAEAの施設共用利用により得られた。