



5.2 ダブルターゲット増幅X線レーザーの空間コヒーレンス計測 Spatial coherence of x-ray laser beam after double-target amplification

錦野将元、田中桃子、岸本牧、加道雅孝、河内哲哉、助川鋼太、長谷川登、
越智義浩、永島圭介

日本原子力研究所 関西研究所 光量子科学研究センター

Masaharu NISHIKINO, Momoko TANAKA, Maki KISHIMOTO, Masataka KADO,
Tetsuya KAWACHI, Kouta Sukegawa, Noboru HASEGAWA, Yoshihiro OCHI,
and Keisuke NAGASHIMA

Advanced Photon Research Center, Kansai Research Establishment,

Japan Atomic Energy Research Institute

8-1 Umemidai Kizu-cho, Souraku-gun, Kyoto 619-0215 Japan

We report the spatial coherence of a x-ray laser at 13.9 nm after double-target amplification. The spatial coherence of the x-ray laser beam is characterized with the Young's double slit interferometry. The experimental coherence lengths for horizontal and vertical directions were greater than the beam size of the x-ray laser after double-target amplification. This x-ray laser beam has full spatial coherence, and the divergence of the x-ray laser beam is very close to diffraction limit.

Keywords : x-ray laser, double-target amplification and full spatial coherence

1. はじめに

過渡励起方式のX線レーザーは単色性($\Delta\lambda/\lambda \leq 10^{-4}$)・高輝度($\sim 10^{25}$ photons/[s mm² mrad² 0.1% bandwidth])・短パルス(~ 10 ps)と優れた特性を持ち、X線顕微鏡やX線干渉計測などの応用研究への利用が期待されるが、その空間コヒーレンスはその応用に対し、未だ十分ではなかった。光量子科学研究センターではX線レーザーの指向性や空間コヒーレンスを向上させるため、ある程度の距離を離して配置した2個のターゲットを用いるダブルターゲット方式により高コヒーレントX線レーザーの発生実験を行った。その結果、従来よりも1桁程度発散角の小さい、非常に指向性の良いX線レーザーを発生させることに成功した。今回、ダブルスリットを用いた young の干渉実験により、ダブルターゲット増幅X線レーザーの空間コヒーレンスの評価を行った。X線レーザーの空間コヒーレンス度は、ダブルスリットによって形成される干渉縞の可視度(Visibility)から評価することができ、このX線レーザーの空間コヒーレンス長が、垂直・鉛直方向ともにX線レーザーのビーム径よりも長いフルコヒーレントな状態であることを確認した。

2. 実験

X線レーザーのダブルターゲット増幅では、第1ターゲットからのX線レーザービームの高コヒーレントな一部分を第2ターゲット上のX線レーザー増幅媒質に入射し、増幅させることにより、高コヒーレントで指向性の良いX線レーザービームを発生させる。本実験では、高コヒーレントX線レーザーを発生させるため2つの銀薄膜ターゲットの間隔を20cmとした。それぞれのターゲットをパルス幅、エネルギー、照射タイミングをそれぞれ独立に変更できる2ビームガラスレーザーシステム(波長:1.053 μm)で線集光(幅20 μm ・長さ6.5mm)照射し、過渡励起方式[1]によって波長13.9nmの高い指向性(ビーム半値全幅発散角0.2mrad)を持つX線レーザーを発生させた[2]。この増幅されたX線レーザーの空間コヒーレンスをダブルスリットによって発生する干渉縞の可視度から評価を行った[3]。図1にダブルターゲット増幅X線レーザーの空間コヒーレンス計測の実験配置を示す。ダブルスリットはスリット幅16 μm でスリット間隔が150・200・300・350 μm のものを使用し、第2ターゲットから2.3mの距離の位置に配置した。このダブルスリットによって生成される干渉縞をダブルスリットから3.9mの距離の位置に配置した軟X線CCDカメラにより計測・記録を行った。またX線レーザーの垂直・水平方向の空間コヒーレンスを評価するためダブルスリットは垂直・水平方向それぞれに配置して干渉縞の計測を行った。このダブルスリット上でのX線レーザービームの大きさは発散角(~ 0.2 mrad)より約460 μm と見積もられる。

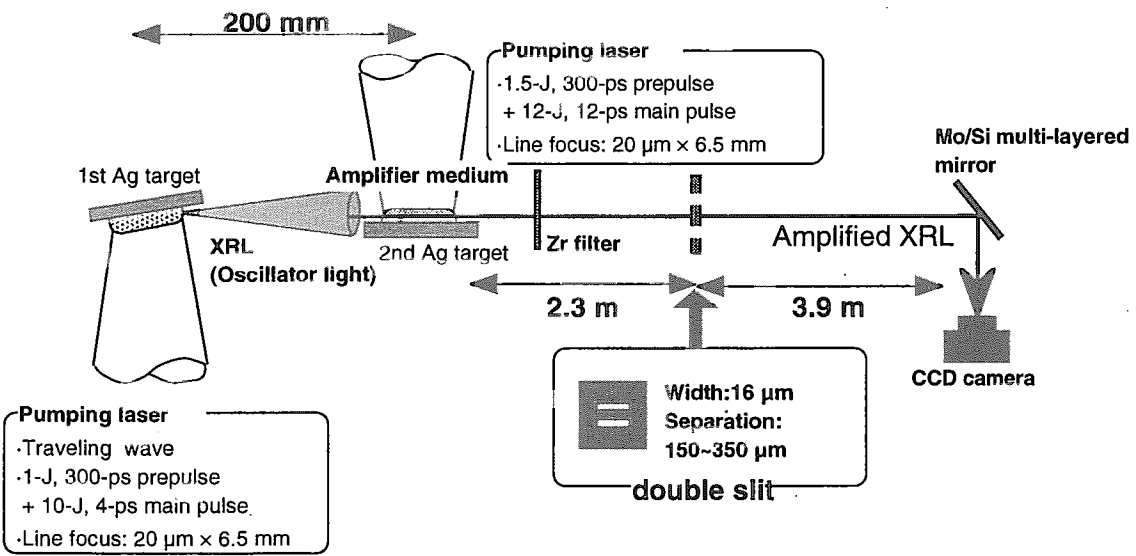


図1: 実験配置図とレーザー照射条件

3. 実験結果と考察

図2にスリット間隔150 μm のダブルスリットを鉛直方向に配置したときの干渉縞の実験結果とその空間プロファイルを示す。干渉縞の可視度 $V(\text{visibility})$ は、干渉縞のもっとも明るい点の

強度 I_{\max} とその隣のもっとも暗い点の強度 I_{\min} を用いて、

$$V = \frac{I_{\max} - I_{\min}}{I_{\max} + I_{\min}}$$

のように表すことができる。可視度 V は、 $0 \leq V \leq 1$ であり、 $V=0$ のときが完全にインコヒーレント、 $V=1$ のときが完全にコヒーレントな状態である。垂直・水平方向を平均したダブルターゲット増幅X線レーザーによる干渉縞から得られた可視度は、スリット幅 $150 \cdot 200 \cdot 300 \cdot 350 \mu\text{m}$ のときにそれぞれ $0.96 \cdot 0.93 \cdot 0.88 \cdot 0.86$ であった。垂直・水平方向のX線レーザーの可視度を図3に示す。

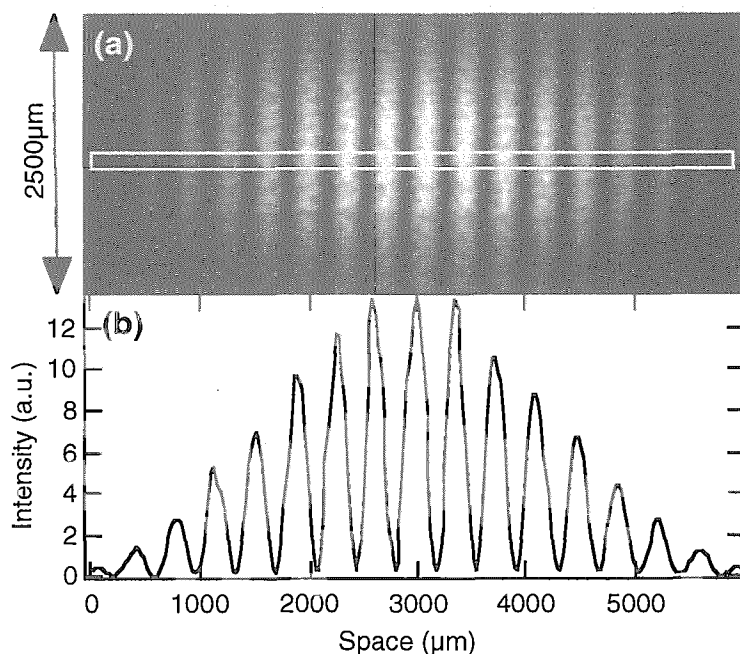
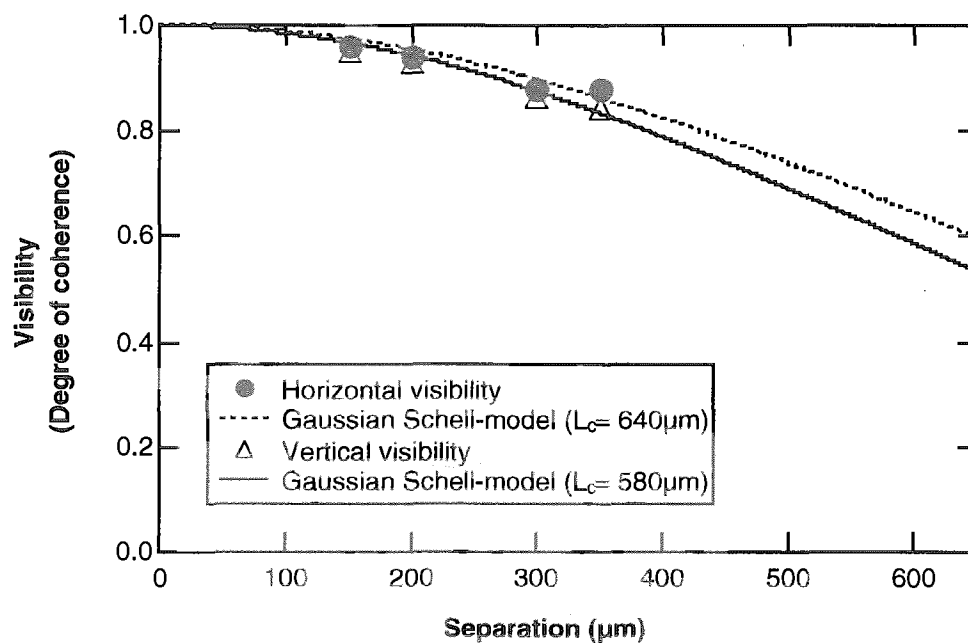


図2：計測結果

(a) ダブルスリットによる干渉縞像、(b) 干渉縞の空間プロファイル

準単色光源の空間コヒーレンスは、規格化された空間コヒーレンス度 μ で表すことができる。X線レーザー光源に対し Gaussian-Shell[4]モデルを用いると、空間の強度分布とコヒーレンス度の分布は、ともにガウス分布で表すことができ、 $V = |\mu(\Delta x)| = \exp[-(\Delta x)^2/2L_c^2]$ の関係より空間コヒーレンス長を L_c を求めることができる。ここで Δx はダブルスリットの間隔である。実験から得られた可視度 V に計算から得られる空間コヒーレンス度 $|\mu(\Delta x)|$ をフィッティングさせることにより得られたダブルスリット上でのX線レーザーの空間コヒーレンス長は、水平方向が $640 \mu\text{m}$ 、垂直方向が $580 \mu\text{m}$ であった。ダブルスリット上でのX線レーザーのビーム径 $460 \mu\text{m}$ よりも空間コヒーレンス長が十分に大きいことから、ダブルターゲットで増幅されたX線レーザービームがフルコヒーレントな状態であることがわかった。また、この高い空間コヒーレンスを持つことにより、ダブルターゲット増幅X線レーザーはほぼ回折限界に近い発散角であることが考えられる。

図3 : 可視度 V と空間コヒーレンス度

4. まとめ

ダブルターゲット増幅X線レーザーの空間コヒーレンスの計測を行った。これまでの単ターゲットにおけるX線レーザーの空間コヒーレンス[5]に比べて、ダブルターゲット増幅により空間コヒーレンスが大きく改善され、フルコヒーレントなX線レーザービームであることを確認した。今後は、この高コヒーレントX線レーザーの利用研究を進めていく予定である。

参考文献

- [1] P. V. Nickles, V. N. Shlyaptsev, M. Kalachnikov, M. Schnuer, I. Will, and W. Sandner, *Phys. Rev. Lett.* **78**, 2748-2751 (1997).
- [2] M. Tanaka *et al.*, in this proceedings.
- [3] R. E. Burge *et al.*, *J. Opt. SOC. Am. B* **14**, 2742-2751 (1997).
- [4] M. Born and E. Wolf, *Principles of Optics*. (Pergamon, Oxford, 1986).
- [5] H. Tang *et al.*, *JAERI-Conf 2002-008*, 115-123 (2002).