

X 線強度干渉法

(財)高輝度光科学研究センター ビームライン・技術部門
矢橋 牧名

現在、最先端の X 線光源として、低エミッタンスの蓄積リングとアンジュレータを組み合わせた第 3 世代放射光源が用いられている。さらに、超高輝度、完全な空間コヒーレンス、極短パルスといった特徴をもつ第 4 世代放射光源が、精力的に開発されている。これらの光源から放出される X 線の特性を正しく評価することは、利用研究、加速器科学の両面から非常に重要である。本研究では、Hanbury-Brown と Twiss によって開発され [1]、近年 X 線領域に拡張された強度干渉法 [2] が、高輝度 X 線光源の特性診断に極めて有効であることを実験的に検証した。

強度干渉を高い精度で測定するためには、光源の輝度が高いことと、高分解能の分光器を用いることが重要である。強度干渉法の R&D のために、X 線領域では現在最も輝度が高い SPring-8 の 27 m アンジュレータを光源に選んだ。また、非常に分解能の高い X 線分光器を新たに設計し、製作した。E=14.4 keV において、Si 11 5 3 の非対称反射を 4 回用いることで、 $\Delta E=120 \mu\text{eV}$ という X 線結晶分光器として世界最小のバンド幅を達成した [3]。それぞれの結晶を平板結晶として設計することで、高品位の表面処理を可能としている。また、結晶配置は、垂直方向の空間コヒーレンスを保存するため、水平方向の散乱面を採用している。

これらの装置を用いて強度干渉実験を行った。分光器の下流に精密スリットを置き、さらにその下流に半透過型の Avalanche Photo Diode (APD) を 2 つ直列に配置した。まず、精密スリットの垂直方向サイズの関数として APD 間のコインシデンスレートを測定した。スリットサイズを小さくしたとき、空間モード数の減少によりコインシデンスの確率が増加することを確認した。このプロファイルに対して、ガウス型の空間コヒーレンス分布を仮定したフィッティングが行われ、垂直方向のコヒーレンス長は $66.3 \pm 2.0 \mu\text{m}$ (光源からの距離 $L = 66.7 \text{ m}$, Fig. 1) 及び $77.5 \pm 2.0 \mu\text{m}$ ($L = 78.2 \text{ m}$) と求められた。これらは van-Cittert と Zernike の定理によく合致し、垂直方向のアンジュレータ光源サイズは $13.8 \pm 0.4 \mu\text{m}$ と求められた。この結果は、偏向部の放射に対して可視の振幅干渉計で測定した結果と比較され、わずかにそれより小さいことが確認された。この理由として、強度干渉法は瞬時のサイズ、振幅干渉法は平均のサイズをみていることが考えられる。また、位相物体を挿入したとき、コヒーレンスプロファイルが大きく変化することを確認した [4]。

次に、バンド幅の関数としてコインシデンスレートを測定することで、パルス幅の決定を行った。バンド幅を変えるために、入射エネルギーをわずかにシフトさせることで非対称度を変化させた。それぞれの条件で空間モード数の効果を取り除き、時間モード数をバンド幅の関数として表した。フィッティングの結果、パルス幅を $32.7 \pm 1.6 \text{ ps}$ と求め、この値が X 線ストリークカ

メラによる測定値と一致することを確認した。

また、次世代の超短パルス放射光源への応用を検討した。現状よりもはるかに簡単な光学系を用いることで強度干渉法が次世代光源に適用でき、ミクロンオーダーの光源サイズや、fs領域のX線パルス幅が決定可能なことを明らかにした [5]。

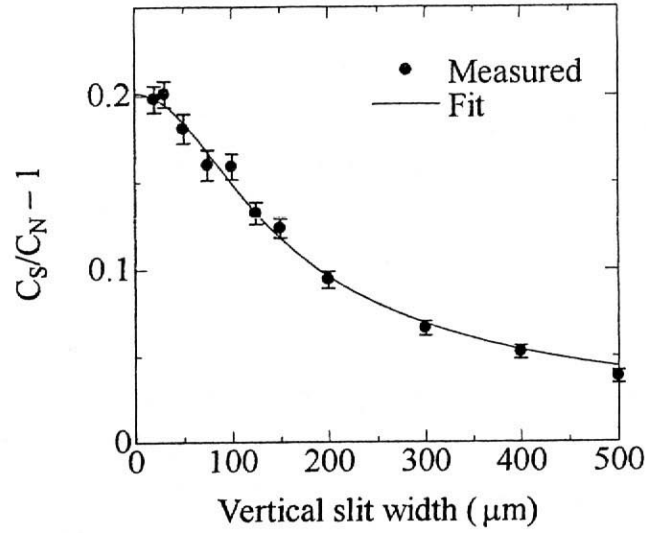


Fig. 1. Enhanced ratio of coincidence probability vs. vertical slit width. The solid line shows a fit result with a coherence length $\sigma_y = 66.3 \mu\text{m}$.

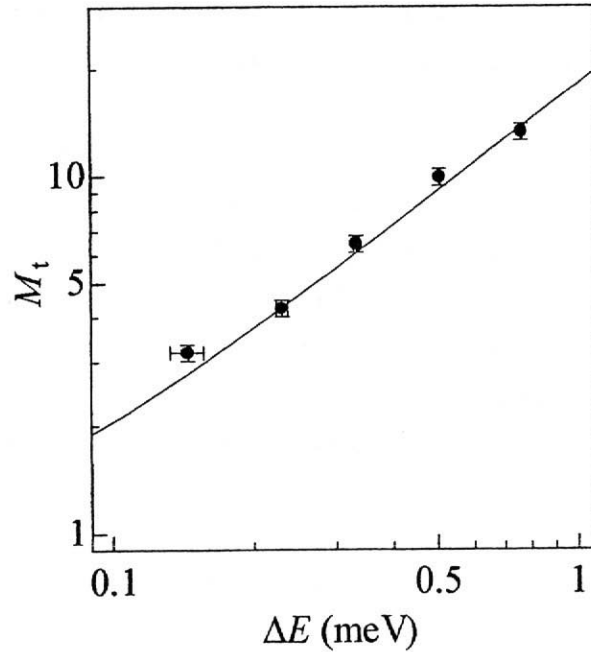


Fig. 2. Temporal mode number determined by intensity interferometry vs. energy bandwidth. The solid line shows a fit result with a pulse width $s_1 = 32.7 \text{ ps}$.

- [1] R. Hanbury-Brown and R.Q. Twiss, *Nature (London)* **177**, 27 (1956).
- [2] E. Ikonen, *Phys. Rev. Lett.* **68**, 2759 (1992); Y. Kunimune, Y. Yoda, K. Izumi, M. Yabashi, X.W. Zhang, T. Harami, M. Ando, and S. Kikuta, *J. Synchrotron Radiat.* **4**, 199 (1997); E. Gluskin, E.E. Alp, I. McNulty, W. Sturhahn, and J. Sutter, *J. Synchrotron Radiat.* **6**, 1065 (1999).
- [3] M. Yabashi, K. Tamasaku, S. Kikuta, and T. Ishikawa, *Rev. Sci. Instrum.* **72**, 4080 (2001).
- [4] M. Yabashi, K. Tamasaku, and T. Ishikawa, *Phys. Rev. Lett.* **87**, 140801 (2001).
- [5] M. Yabashi, K. Tamasaku, and T. Ishikawa, *Phys. Rev. Lett.* **88**, 244801 (2002).