

I 短周期アンジュレータの開発研究

Research and development on short-period undulators

北村英男

Kitamura, H.

スイスPaul Scherrer研究所の放射光施設(SLS)との共同研究により、クライオ型永久磁石アンジュレータのプロトタイプ器を開発している。周期長は14mm、周期数は110(磁石長1.6m)である。本年度は真空中に設置した永久磁石列を117 Kに冷却し、新たに開発した真空対応の磁場測定器(SAFALI)を使用して、アンジュレータに必要とされる磁場性能、特に位相エラー特性を評価した。この結果、室温時の位相エラー1.0度が、冷却によって3.8度まで悪化することが観測された。ただし、これは、冷却による磁石列やこれを支持するIビームの熱収縮により、電子ビーム軸方向に磁石ギャップのバラツキが生じることによるものと予想されていたことであった。対策として予め採用されていた差動アジャスターにより、ミクロンレベルのギャップ調整を行ったところ、室温時と同じ位相エラー1.0度まで修正することが出来た。

II コヒーレントX線光源の開発研究

Research and development on coherent x-ray sources

北村英男

Kitamura, H.

SPring-8では、2011年3月の完成を目指すX線自由電子レーザー(XFEL)が建設中である。この施設は、8-GeV線型加速器(400m)、アンジュレータ(110m)、及び実験ホール(70m)で構成されているが、本研究が関わっているのはアンジュレータ部の開発・建設である。アンジュレータは5-m長のアンジュレータセグメント18台で構成され、周期長は18 mm、セグメントあたりの周期数は277である。位相エラー3度以下を目指して建設を進めており、本年度は18台中6台をXFEL光源収納部に設置し、SAFALI型磁場測定器を使用した評価作業を行っている。

III X線干渉計および干渉計測法の開発

X-ray interferometer and interferometry

石川哲也
Ishikawa, T.

SPring-8からの高干渉性放射光を用いて、X線干渉計および干渉計測法の開発を進めてきたが、更に高い干渉性光源としてX線自由電子レーザーを建設することになった。このための光学系、計測系の開発をSPring-8の理研物理科学研究用ビームラインI(BL29XUL)およびII(BL19LXU)で進めている。X線自由電子レーザー利用に当たっては、その高い瞬間パワーのために光学系や光学素子に特別な注意が必要となる。特に熱的性質に優れたダイヤモンド単結晶の利用が注目されており、X線光学素子としてのダイヤモンド単結晶の評価や加工法の開発が進められている。

コヒーレントX線入射による散乱パターンに、数学的手法により位相を回復し、フーリエ変換から実空間散乱体分布を求める方式のレンズレス・マイクロスコピの方法を開発し、生体試料を含む様々な試料に適用している。平成21年度には、集光ビームを用いた高分解能化に向けての研究開発を行い、銀ナノクリスタルを試料として3nm分解能に到達した。

IV 精密光学素子調整技術と調整機器の開発

High precision x-ray optics and optical instruments

石川哲也
Ishikawa, T.

大阪大学のグループと共同で、Kirkpatrick-Baez型X線集光装置の開発研究を進めており、7nmの一次元X線集光に成功した。またX線自由電子レーザー用の集光ミラーの試作を行った。

硬X線領域で数十ミリeVのエネルギー分解能を持つX線分光器を利用した硬X線励起光電子分光法の応用研究が進められている。これは、いままで不可能であったバルクの電子状態の非常に敏感な解析方法であり、また埋もれた界面での電子状態解析にも利用できることから、非常に多くの試料に適用された。

V レーザー・高輝度放射光同期照射システムの開発と

時間分解測定

Pulse synchronization between laser and synchrotron radiation

石川哲也

Ishikawa, T.

SPring-8の高輝度パルスX線と超短パルスレーザーを利用した多光子過程、非線形過程、時間分解測定法によるフォノン、光励起電子のエネルギー緩和過程等の様々な物理過程の研究とその工学的応用研究を目的としレーザーと放射光との同期照射システムの開発を進めてきたが、ここで開発されたポンプ - プローブ計測手法は、フェムト秒パルスが出る X線自由電子レーザーで重要性を増すために、一層の高精度タイミング系の開発を目指した R&Dが進められている。

発表論文 List of Publications

- I-1 T. Tanaka, T. Seike, et al.: "In situ correction of field errors induced by temperature gradient in cryogenic undulators", *Phys. Rev. ST-AB* **12** (2009) 120702.
- I-2 T. Tanaka and H. Kitamura: "Universal function for the brilliance of undulator radiation considering the energy spread effect", *J. Synchrotron Radiation* **16** (2009) 380.
- II-1 T. Shintake, H. Tanaka, et.al.: "Stable operation of a self-amplified spontaneous-emission free-electron laser in the extremely ultraviolet region", *Phys. Rev. ST-AB* **12** (2009) 070701.
- III-1 Y. Kohmura, K. Sawada, M. Taguchi, T. Ishikawa, T. Ohigashi and Y. Suzuki: "Formation of x-ray vortex dipoles using a single diffraction pattern and direct phase measurement using interferometry", *Appl. Phys. Lett.* **94** (2009) 101112-1-3.
- III-2 Y. Takahashi, Y. Nishino, H. Furukawa, H. Kubo, K. Yamauchi, T. Ishikawa and E. Matsubara: "Observation of electromigration in a Cu thin line by in situ coherent x-ray diffraction microscopy", *J. Appl. Phys.* **105** (2009) 124911-1-5.
- III-3 Y. Takahashi, Y. Nishino, H. Mimura, R. Tsurumi, H. Kubo, T. Ishikawa and K. Yamauchi: "Feasibility study of high-resolution coherent diffraction microscopy using synchrotron x rays focused by Kirkpatrick-Baez mirrors", *J. Appl. Phys.* **105** (2009) 083106-1-5.
- III-4 Y. Takahashi, Y. Nishino, R. Tsutsumi, H. Kubo, H. Furukawa, H. Mimura, S. Matsuyama, N. Zetsu, E. Matsubara, T. Ishikawa and K. Yamauchi: "High-resolution diffraction microscopy using the plane-wave field of a nearly diffraction limited focused x-ray beam",

Phys. Rev. B **80** (2009) 054103-1-5.

- III-5 Y. Takahashi, N. Zettsu, Y. Nishino, R. Tsutsumi, E. Matsubara, T. Ishikawa and K. Yamauchi: “Three-dimensional electron density mapping of shape-controlled nanoparticle by focused hard x-ray diffraction microscopy”, *Nano Letters*, **10** (2010) 1922-1926.
- IV-1 H. Mimura, S. Handa, T. Kimura, H. Yumoto, D. Yamakawa, H. Yokoyama, S. Matsuyama, K. Inagaki, K. Yamamura, Y. Sano, K. Tamasaku, Y. Nishino, M. Yabashi, T. Ishikawa and K. Yamauchi: “Breaking the 10 nm barrier in hard-X-ray focusing”, *Nature Phys.* **6** (2009) 122-125.
- IV-2 S. Matsuyama, M. Shimura, H. Mimura, M. Fujii, H. Yumoto, Y. Sano, M. Yabashi, Y. Nishino, K. Tamasaku, T. Ishikawa and K. Yamauchi: “Trace element mapping of a single cell using a hard x-ray nanobeam focused by a Kirkpatrick-Baez mirror system”, *X-ray Spectroscopy*, **38** (2009) 89-94.
- IV-3 T. Kimura, S. Handa, H. Mimura, H. Yumoto, D. Yamakawa, S. Matsuyama, K. Inagaki, Y. Sano, K. Tamasaku, Y. Nishino, M. Yabashi, T. Ishikawa and K. Yamauchi: “Wavefront control system for phase compensation in hard x-ray optics”, *Jpn. J. Appl. Phys.* **48** (2009) 072503-1-4.
- IV-4 S. Suga, A. Sekiyama, H. Fujiwara, Y. Nakatsu, T. Miyamachi, S. Imada, P. Baltzer, S. Niitaka, H. Takagi, K. Yoshimura, M. Yabashi, K. Tamasaku, A. Higashiya and T. Ishikawa: “Do all nuclei recoil on photoemission in compounds?”, *New J. Phys.* **11** (2009) 073025-1-9.
- IV-5 S. Suga, A. Sekiyama, S. Imada, J. Yamaguchi, A. Shigemoto, A. Irizawa, K. Yoshimura, M. Yabashi, K. Tamasaku, A. Higashiya and T. Ishikawa : “Unraveling genuine first order bulk valence transition and Kondo resonance behaviors in YbInCu₄ by high energy photoelectron spectroscopy”, *J. Phys. Soc. Jpn.* **78** (2009) 074704-1-5.
- V-1 H. Yoneda, Y. Inubushi, T. Tanaka, Y. Yamaguchi, F. Sato, S. Morimoto, T. Kumagai, M. Nagasono, A. Higashiya, M. Yabashi, T. Ishikawa, H. Ohashi, H. Kimura, H. Kitamura and R. Kodama: “Ultra-fast switching of light by absorption saturation in vacuum ultra-violet region”, *Optics Express*, **17** (2009) 23443-23448.

大学院物質理学研究科

博士前期課程

中島宇樹：クライオアンジュレータにおける精密磁場測定法