

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.

SPring-8 では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15mm、周期数は92（磁石長1.4m）である。本年度は、極低温(77K以上)における永久磁石列の磁場評価を行った。得られた磁場性能は、磁場最大となる最適温度：140 K、最小ギャップ3mmにおける最大磁場：1.74 T、対応する実効K値：2.3である。低温時の磁石ギャップは熱収縮のためギャップ指令値よりも0.8mm程度狭い。位相エラー退治は実ギャップ4mmにて実施した。達成値は4°であるが、ギャップを4mmより狭めると、機械部剛性欠如のため、急激に位相エラーが増大し、G=3.5mmにて8°、G=3.0mmにて17°となった。原因は、吸引力が機械部設計の想定（1Ton）を遥かに超える 3.2Ton に達したためである。この先行機についての改良は望めないが、対策は容易である。本器は2013年3月末に SPring-8 蓄積リング34セルの直線部に設置された。次年度から放射光発生を伴う本格的な試験運転を行う予定である。

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.

SACLA、SPring-8 などの放射光施設で使用されるアンジュレータから発生する光の波長は、磁場と周期長に依存するため、これらを適切に選択することにより、必要な波長を得ることができる。磁場強度は上下磁石列のギャップを変えることによって調整可能である。したがって、限定された範囲内であるが、光波長が可変である。しかしながら、周期長は一定値に固定され、このことが光波長の利用可能範囲を制限するという問題点があった。そこで、アンジュレータ光の波長範囲を広げるため、各磁石列を構成する永久磁石ブロックの磁化角度あるいは配列・寸法に変更を加えることにより、倍の周期をもつ周期磁場の発生を可能にする特殊な磁気回路（複合周期アンジュレータ）を提案した。さらにその応用例として、任意の偏光状態を生成可能な新型アンジュレータを考案した。本研究では、複合周期アンジュレータ磁気回路を試作し、基本周期と

倍周期の各モードに設定した状態で 磁場分布を測定することにより、その原理を検証した。

III 偏光制御アンジュレータの開発研究

Research and development on polarization-controlled undulators

北村英男

Kitamura, H.

BL07LSU は 2010 年度に完成した長直線アンジュレータビームラインである。水平偏光 8 の字アンジュレータ 4 台、垂直偏光 8 の字アンジュレータ 4 台で構成され、250 eV 以上 2 keV 以下の軟 X 線領域において可変偏光高輝度放射光が供給できるよう設計されているが、偏光高速スイッチに必要な 7 台の電磁石型移相器が問題を起こしていた。セラミック製真空ダクトのコバールが強磁性体であったためである。これを解決するため、セラミック製ダクトを撤去し、薄肉ステンレス製のダクトに交換することになった。本年度は、先行型薄肉ダクトを製作し、励磁試験を行った結果、30Hz 以下の周波数領域において、渦電流損による性能劣化は実用上問題がないことがわかった。次年度は以上の結果を踏まえて残り 6 台を製作し、当初の偏光制御性能を備えたビームラインを完成する予定である。

IV 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 から的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した。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)で進めてきたが、X 線自由電子レーザー本体や、プロトタイプ EUV レーザーにも展開している。

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・マイクロスコピィの方法を開発し、生体試料を含む様々な試料に適用している。平成24年度には、X 線自由電子レーザー用計測装置の本格稼働を開始した。

V 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、また X 線自由電子レーザー用の集光ミラーの製作を行い、二段集光ミラーにより焦点サイズ 50 nm × 50 nmを実現した。

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。

VI 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

- IV-1 Y. Nishino, M. Eltsov, Y. Joti, K. Ito, H. Takata, Y. Takahashi, S. Hihara, A. S. Frangakis, N. Imamoto, T. Ishikawa and K. Maeshima : “Human mitotic chromosomes consist predominantly of irregularly folded nucleosome fibres without a 30-nm chromatin structure” , *EMBO J.* **31** (2012) 1644-53.
- IV-2 Y. Joti, T. Hikima, Y. Nishino, F. Kamada, S. Hihara, H. Takata, T. Ishikawa and K. Maeshima: “Chromosomes without a 30-nm chromatin fiber”, *Nucleus*, **3** (2012) 404-410.
- IV-3 J. W. Jung, J. S. Lee, N. Kwon, S. J. Park, S. Chang, J. Kim, J. Pyo, Y. Kohmura, Y. Nishino, M. Yamamoto, T. Ishikawa and J. H. Je: “Fast microtomography using bright monochromatic x-rays”, *Rev. Sci. Instrum.* **83** (2012) 093704.
- V-1 S. Matsuyama, N. Kidani, H. Mimura, Y. Sano, Y. Kohmura, K. Tamasaku, M. Yabashi, T. Ishikawa and K. Yamauchi: “Hard-X-Ray imaging optics based on four aspherical mirrors with 50 nm resolution”, *Opt. Express*, **20** (2012) 10310-10319.
- V-2 H. Nakamori, S. Matsuyama, S. Imai, T. Kimura, Y. Sano, Y. Kohmura, K. Tamasaku, M. Yabashi, T. Ishikawa and K. Yamauchi: “Experimental and simulation study of undesirable short-period deformation in piezoelectric deformable x-ray mirrors”, *Rev. Sci. Instrum.* **83** (2012) 053701-1-7.
- V-3 S. Matsuyama, H. Yokoyama, R. Fukui, Y. Kohmura, K. Tamasaku, M. Yabashi, W. Yashiro, A. Momose, T. Ishikawa and K. Yamauchi: “Wavefront measurement for a hard x-ray nanobeam using single-grating interferometry”, *Opt. Exp.* **22** (2012) 24977-24986.
- V-4 M. Matsunami, A. Chainani, M. Taduchi, R. Eguchi, Y. Takata, M. Oura, M. Yabashi, K. Tamasaku, Y. Nishino, T. Ishikawa, M. Kosaka and S. Shin: “Photoemission Evidence for Valence Fluctuations and Kondo Resonance in YbAl₂”, *J. Phys. Soc. Jpn.* **81** (2012) 073702-1-4.
- VI -1 Y. Inubushi, K. Tono, T. Togashi, T. Sato, T. Hatsui, T. Kameshima, K. Togawa, T. Hara, T. Tanaka, H. Tanaka, T. Ishikawa and M. Yabashi: “Determination of the pulse duration of an x-ray free electron laser using highly resolved single-shot spectra”, *Phys. Rev. Lett.* **109** (2012) 144801-1-4.
- VI-2 K. Yamanoi, K. Sakai, M. Cadatal-Raduban, T. Nakazato, T. Shimizu, N. Sarukura, M. Kano, A. Wakiyama, T. Fukuda, M. Nagasono, T. Togashi, S. Matsubara, K. Tono, A. Higashiya, M. Yabashi, H. Kimura, H. Ohashi and T. Ishikawa: “Indium-doped ZnO scintillator with 3-ps response time for accurate synchronization of optical and x-ray free electron laser pulses”, *IEEE Trans. Nucl. Sci.* **59** (2012) 2298-2300.

- VI-3 A. Sugiyama, H. Iwayama, S. Yase, H. Murakami, K. Nagaya, M. Yao, H. Fukuzawa, X. J. Liu, K. Motomura, K. Ueda, N. Saito, L. Foucar, A. Rudenko, M. Kurka, K. U. Kuhnel, J. Ullrich, A. Czasch, R. Donner, R. Feifel, M. Nagasono, A. Higashiya, M. Yabashi, T. Ishikawa, T. Togashi, H. Kimura and H. Ohashi: “Charge and energy transfer in argon-core-neon-shell clusters irradiated by free-electron-laser pulses at 62 nm”, Phys. Rev. A, **86** (2012) 033203.

大学院理学研究科

博士前期課程

黒田 聡浩：複合周期アンジュレータの開発