

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 に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導入する予定で建設を推進している。周期長は 15mm、周期数は 92 (磁石長 1.4m) である。本年度は、室温における永久磁石列の磁場評価を行った。ギャップ 3.8mm において 1.38T の磁場が得られ、位相エラー 4° 以下を確認した。来年度は、SPring-8 蓄積リングへの設置を展望し、冷却試験、加熱排気無しでの超高真空試験、低温時の磁場評価を行う予定である。

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.

2011 年 6 月、X 線自由電子レーザー (SACLA) において最初の X 線レーザー (0.12nm) が確認された。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。以後、コミッショニングは順調に推移し、0.06nm から 0.28nm の波長域においてレーザー発振を確認した。レーザー性能は、最大レーザーパワー：10GW 以上、レーザーパワーの揺らぎ：最大 20 %、パルス長：30fs 程度 (FWHM) である。このことは、アンジュレータ性能が良好であることを証明している。同年度 3 月からユーザー利用対応の施設運転を行っている。

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 SPring-8 に 4 つある長直線アンジュレータビームラインのうちの 1 つである。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。2010 年度に全系の整備が終了し、偏光状態の高速スイッチングを目指したコミッショニングを行ったが、計 7 セットの電磁石型移相器内における電磁石とセラミックダクト・コパール部との磁氣的結合が著しく、健全なスイッチングが不可能となる事態となった。改善策として、セラミックダクトを薄肉ステンレス製に交換する案を採用することにした。予備実験の結果、当初の目標である 10Hz でのスイッチングが可能であることが実証された。2012 年度に薄肉ステンレスダクトの先行型を製作し、良好な性能を確認した後、残り 6 台を製作する予定である。

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。2011 年度には、X 線自由電子レーザー用計測装置の試験運用を開始した。

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。

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 RD が進められている。

発表論文 List of Publications

- II-1** T. Tanaka and H. Kitamura: “ Composite period undulator to improve the wavelength tunability of free electron lasers ”, Phys. Rev. ST-AB. 14 (2011) 050701
- III-1** T. Tanaka and H. Kitamura: “ A new undulator scheme providing various polarization states with low on-axis power density ”, Nucl. Instrum. Meth. A659 (2011) 537-542
- III-2** Y. Senba et al.: “ New soft X-ray beamline BL07LSU for long undulator of SPRING-8: Design and status ”, Nucl. Instrum. Meth. A649 (2011) 58-60
- IV-1** K. Tamasaku, K. Sawada, E. Nishibori and T. Ishikawa: “ Visualizing the local optical response to extreme-ultraviolet radiation with a resolution of $1/380$ ”, Nature Physics, 7 (2011) 705-708.
- IV-2** Y. Takahashi, A. Suzuki, N. Zettsu, Y. Kohmura, K. Yamauchi and T. Ishikawa: “ Multiscale element mapping of buried structures by ptychographic x-ray diffraction microscopy using anomalous scattering ”, Appl. Phys. Lett., 99 (2011) 131905-1-3.
- IV-3** R. Xu, S. Salha, K. S. Raines, H. D. Jiang, C. C. Chen, Y. Takahashi, Y. Kohmura, Y. Nishino, C. Y. Song, T. Ishikawa and J. Miao: “ Coherent diffraction microscopy at SPRING-8: instrumentation, data acquisition and data analysis ”, J. Synchrotron Rad., 18 (2011) 293-298.
- IV-4** K. Tono, T. Kudo, M. Yabashi, T. Tachibana, Y. P. Feng, D. Fritz, J. Hastings and T. Ishikawa: “ Single-shot beam-position monitor for x-ray free electron laser ”, Rev. Sci. Instrum. 82 (2011) 023108-1-6.

- V-1** K. Yamauchi, H. Mimura, T. Kimura, H. Yumoto, S. Handa, S. Matsuyama, K. Arima, Y. sano, K. Yamamura, K. Inagaki, H. Nakamori, J. Kim, K. Tamasaku, Y. Nishino, M. Yabashi and T. Ishikawa: “ Single-nanometer focusing of hard x-rays by Kirkpatrick-Baez mirrors ”, *J. Phys.-Cond. Matt.*, 23 (2011) 394206
- V-2** H. Mimura, T. Kimura, H. Yumoto, H. Yokohama, H. Nakamori, S. Matsuyama, K. Tamasaku, Y. Nishino, M. Yabashi, T. Ishikawa and K. Yamauchi: “ One-dimensional sub-10-nm hard x-ray focusing using laterally graded multilayer mirror ”, *Nucl. Instrum. Methods*, A635 (2011) S16-S18.
- V-3** Y. Nakatsu, A. Sekiyama, S. Imada, Y. Okamoto, S. Niitaka, H. Takagi, A. Higashiya, M. Yabashi, K. Tamasaku, T. Ishikawa and S. Suga: “ Hard x-ray photoelectron spectroscopy of the metal-insulator transition in LiRh_2O_4 ”, *Phys. Rev. B*, 83 (2011) 115120-1-5.
- V-4** T. Ohtsuki, A. Chainani, R. Eguchi, M. Matsunami, Y. Takata, M. Taguchi, Y. Nishino, K. Tamasaku, M. Yabashi, T. Ishikawa, M. Oura, Y. Senba, H. Ohashi and S. Shin: “ Role of Ti 3d carriers in mediating the ferromagnetism of $\text{Co}:\text{TiO}_2$ anatase thin films ”, *Phys. Rev. Lett.* 106 (2011) 047602-1-4.
- VI-1** T. Nakazato, T. Shimizu, K. Yamanoi, M. Cadatai-Raduban, E. Estacio, K. Sakai, N. Sarukura, D. Ehrentraut, T. Fukuda, M. Nagasono, T. Togashi, A. Higashiya, M. Yabashi, T. Ishikawa, H. Ohashi and H. Kimura: “ Fast impurity-doped ZnO scintillator for accurate synchronization of XFEL femtosecond pulses and conventional ultrafast laser ”, *J. Ceramic Process. Res.* 12 (2011) S175-S178.
- VI-2** R. Bachelard, P. Mercere, M. Idir, M. E. Couprie, M. Labat, O. Chubar, G. Lambert, P. Zeitoun, H. Kimura, H. Ohashi, A. Higashiya, M. Yabashi, M. Nagasono, T. Hara and T. Ishikawa: “ Wavefront analysis of nonlinear self-amplified spontaneous-emission free-electron laser harmonics in the single-shot regime ”, *Phys. Rev. Lett.*, 106 (2011) 234801-1-4.
- VI-3** N. A. Inogamov, A. Ya. Faenov, W. Zhakhovsky, T. A. Pikuz, I. Yu. Skobelev, Yu. V. Petrov, V. A. Khokholov, V. V. Shepelev, S. I. Anisimov, V. E. Fortov, Y. Fukuda, M. Kando, T. Kawachi, M. Nagasono, H. Ohashi, M. Yabashi, K. Tono, Y. Senda, T. Togashi and T. Ishikawa: “ Two-temperature warm dense matter produced by ultrashort extreme vacuum ultraviolet-free electron laser (EUV-FEL) pulse ”, *Contributions to Plasma Phys.*, 51 (2011) 419-426.
- VI-4** T. Shimizu, K. Yamanoi, K. Sakai, M. Cadatai-Raduban, T. Nakazato, N. Sarukura, M. Kato, A. Wakamiya, D. Ehrentraut, T. Fukuda, M. Nagasono, A. Higashiya, M. Yabashi, H. Kimura, H. Ohashi and T. Ishikawa: “ Response time-shortened zinc oxide scintillator for accurate single-shot synchronization of extreme ultraviolet free-electron laser and short-pulse laser ”, *Appl. Phys. Exp.*, 4 (2011) 062701.
- VI-5** T. Sato, A. Iwasaki, K. Ishibashi, T. Okino, K. Yamanouchi, J. Adachi, A. Yagishita, H. Yazawa, F. Kannari, M. Aoyama, K. Yamakawa, K. Midorikawa, H.

- Nakano, M. Yabashi, M. Nagasono, A. Higashiya and T. Ishikawa: “ Determination of the absolute two-photon ionization cross section of He by an XUV free electron laser ”, *J. Phys. B-At. Mol. Opt. Phys.*, 44 (2011) 161001.
- VI-6** R. Moshhammer, T. Pfeifer, A. Rudenko, Y. H. Jiang, L. Foucar, M. Kurka, K. U. Kuhnel, C. D. Schroter, J. Ullrich, O. Herrwerth, M. F. King, X. J. Liu, K. Motomura, H. Fukuzawa, A. Yamada, K. Ueda, K. L. Ishikawa, K. Nagaya, H. Iwayama, A. Sugishima, Y. Mizoguchi, S. Yase, M. Yao, N. Saito, A. Belkacem, M. Nagasono, A. Higashiya, M. Yabashi, T. Ishikawa, H. Ohashi, H. Kimura and T. Togashi: “ Second-order autocorrelation of XUV FEL pulsed via time resolved two-photon single ionization of He ”, *Opt. Express*, 19 (2011) 21698-21706.
- VI-7** E. V. Gryzlova, R. Ma, H. Fukuzawa, K. Motomura, A. Yamada, K. Ueda, A. N. Grum-Grzhimailo, N. M. Kabachnik, S. I. Strakhova, A. Rouzee, A. Hundermark, M. J. J. Vrakking, P. Johnsonn, K. Nagaya, S. Yase, Y. Mizoguchi, M. Yao, M. Nagasono, K. Tono, T. Togashi, Y. Senba, H. Ohashi, M. Yabashi and T. Ishikawa: “ Doubly resonant three-photon double ionization of Ar atoms induced by an EUV free-electron laser ”, *Phys. Rev. A*, 84 (2011) 063405-1-4.
- VI-8** M. Nagasono, J. R. Harries, H. Iwayanma, T. Togashi, K. Tono, M. Yabashi, Y. Senba, H. Ohashi, T. Ishikawa and E. Shigemasa: “ Observation of free-electronlaser-induced collective spontaneous emission (superfluorescence) ”, *Phys. Rev. Lett.* 107 (2011) 193603-1-5.
- VI-9** T. Sako, J. Adachi, A. Yagishita, M. Yabashi, T. Tanaka, M. Nagasono and T. Ishikawa: “ Suppression of ionization probability due to Rabi oscillations in the resonance two-photon ionization of He by EUV free-electron lasers ”, *Phys. Rev. A*, 84 (2011) 053419-1-8.
- VI-10** A. Hishikawa, M. Fushitani, Y. Hikosaka, A. Matsuda, C.-N. Liu, T. Morishita, E. Shigemasa, M. Nagasono, K. Tono, T. Togashi, H. Ohashi, H. Kimura, Y. Senba, M. Yabashi and T. Ishikawa: “ Enhanced nonlinear double excitation of He in intense extreme ultraviolet laser fields ”, *Phys. Rev. Lett.*, 107 (2011) 243003-1-5.
- VI-11** M. Yao, K. Nagaya, H. Iwayama, H. Fukuzawa, K. Ueda, M. Nagasono and T. Ishikawa: “ Metallic-like droplets produced by irradiating rare-gas clusters with free electron laser pulses ”, *Euro. Phys. J.-Special Topics*, 196 (2011) 175-180.
- VI-12** T. Togashi, E.J. Takahashi, K. Midorikawa, M. Aoyama, K. Yamakawa, T. Sato, A. Iwasaki, S. Owada, T. Okino, K. Yamanouchi, F. Kannari, A. Yagishita, H. Nakano, M. E. Couprie, K. Fukami, T. Hatsui, T. Hara, T. Kameshima, H. Kitamura, T. Shintake, K. Tamasaku, H. Tanaka, T. Tanaka, K. Togawa, H. Tomizawa, T. Watanabe, M. Yabashi and T. Ishikawa: “ Extreme ultraviolet free electron laser seeded with high-order harmonic of Ti:sapphire laser ”, *Opt. Express*, 19 (2011) 317-324.
- VI-13** N. Miyauchi, J. Adaqchi, A. Yagishita, T. Sako, F. Koike, T. Sato, A. Iwasaki, T. Okino, K. Yamanouchi, K. Midorikawa, K. Yamakawa, F. Kannari, H. Nakano, A.

Nagasono, K. Tono, M. Yabashi, T. Ishikaawa, T. Togashi, H. Ohashi, H. Kimura and Y. Senba: “ Three-photon double ionization of Ar studied by photoelectron spectroscopy using an extreme ultraviolet free-electron laser: manifestation of resonance states of an intermediate Ar^+ ion ”, J. Phys. B, 44 (2011) 071001-1-7.