

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。本年度は室温下での磁場測定ならびに磁場調整を行った。また、液体窒素による磁石冷却のための冷却パイプ、温度センサ、温度制御用ヒータなどの組込作業を同研究所の技術者と共同で行った。さらに、平成 21 年度に予定している極低温での磁場測定に備えるため、室温から極低温 (-180°C) の広い温度範囲においてホール素子の較正を実施し、温度および磁場に対して 2 次元の較正テーブルを作成した。

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.

FEL では電子ビームに基本波長程度の粗密波 (マイクロバンチ) が形成されることにより増幅が起こる。ゲインが低いときにはマイクロバンチによる電流変調は基本波の成分しか持たないが、ゲインが高くなるとその高調波成分が発生し、アンジュレータ放射の高次光も増幅されるため、より短波長の光を利用できる可能性がある。SCSS 試験加速器における高次光利用の可能性を調査するため、2 次光及び 3 次光における FEL ゲインや空間分布を測定した。この結果、2 次・3 次光とも 10^3 程度のゲインが得られることがわかった。さらに、2 次光の空間分布は水平に分裂していること、また 3 次光の角度発散は 1 次光のその 60% 程度であることがわかった。シミュレーションを行った結果、これらの実験結果がよく再現されることを確認した。

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、その高い瞬時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 20 年度には、この方法をヒト染色体に応用し、空間分解能 0.1 ミクロン程度でのトモグラフィー観察を行った。また集光ビームを用いた高分解能化に向けての研究開発が進められている。

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、10nm 以下の X線集光が視野に入ってきた。この集光ビームを用いた走査型 X線蛍光顕微計測装置を開発し、細胞内微量金属分布の高空間分解能イメージングに応用してきた。平成 20 年度には、データ収集の高速化に向けての検出系の改良を行った。

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 Bizen, T; Asano, Y; Marechal, XM, et al: “High-energy electron irradiation of NdFeB permanent magnets: Dependence of radiation damage on the electron energy”, NUCLEAR INSTRUM. & METH. **A574** (2008) 401-406
- II-1 Lambert, G; Hara, T; Garzella, D, et al.: “Injection of harmonics generated in gas in a free-electron laser providing intense and coherent extreme-ultraviolet light”, NATURE PHYSICS **4** (2008) 296-300
- II-2 T. Shintake et al.: “A compact free-electron laser for generating coherent radiation in the extreme ultraviolet region”, NATURE PHOTONICS **2** (2008) 555-559
- III-1 C. Song, H. Jiang, A. Mancuso, B. Amirbeikian, L. Peng, R. Sun, S. S. Shah, Z. H. Zhou, T. Ishikawa and J. Miao: “Quantitative imaging of single, unstained viruses with coherent x rays”, Phys. Rev. Lett. **101** (2008) 158101-1-4.
- III-2 Y. Takahashi, H. Kubo, H. Furukawa, K. Yamauchi, E. Matsubara, T. Ishikawa and Y. Nishino: “Element-specific hard x-ray diffraction microscopy”, Phys. Rev. B **78** (2008) 092105-1-4.
- III-3 Y. Takahashi, H. Furukawa, H. Kubo, K. Yamauchi, Y. Nishino, T. Ishikawa and E. Matsubara: “Coherent x-ray diffraction measurements of Cu thin lines”, Surf. Interface Anal. **40** (2008) 1046-1049.
- III-4 H. D. Jiang, D. Ramunno-Johnson, C. Song, B. Amirbekian, Y. Kohmura, Y. Nishino, Y. Takahashi, T. Ishikawa and J. W. Miao: “Nanoscale imaging of

- mineral crystals inside biological composite materials using x-ray diffraction microscopy”, *Phys. Rev. Lett.* **100** (2008) 038103-1-4.
- IV-1 Y. Takata, Y. Kayanuma, S. Oshima, S. Tanaka, M. Yabashi, K. Tamasaku, Y. Nishino, M. Matsunami, R. Eguchi, A. Chinani, M. Oura, T. Takeuchi, Y. Senba, H. Ohashi, S. Shin and T. Ishikawa: “Recoil Effect of Photoelectrons in the Fermi Edge of Simple Metals”, *Phys. Rev. Lett.* **101** (2008) 137601-1-4.
- IV-2 H. Mimura, S. Morita, T. Kimura, D. Yamakawa, W. Lin, Y. Uehara, S. Matsuyama, H. Yumoto, H. Ohashi, K. Tamasaku, Y. Nishino, M. Yabashi, T. Ishikawa, H. Ohmori and K. Yamauchi: “Focusing mirror for x-ray free-electron lasers”, *Rev. Sci. Instrum.* **79** (2008) 083104-1-4.
- IV-3 R. Eguchi, M. Taguchi, M. Matsunami, K. Horiba, K. Yamamoto, Y. Ishida, A. Chainani, Y. Takata, M. Yabashi, D. Miwa, Y. Nishino, K. Tamasaku, T. Ishikawa, Y. Senba, H. Ohashi, Y. Muraoka, Z. Hiroi and S. Shin: “Photoemission evidence for a Mott-Hubbard metal-insulator transition in VO₂”, *Phys. Rev. B* **78** (2008) 075115-1-6.
- IV-4 H. Wadati, Y. Hotta, A. Fujimori, T. Susaki, H. Y. Hwang, Y. Takata, K. Horiba, M. Matsunami, S. Shin, M. Yabashi, K. Tamasaku, Y. Nishino and T. Ishikawa: “Hard x-ray photoemission study of LaAlO₃/LaVO₃ multilayer”, *Phys. Rev. B.* **77** (2008) 045122-1-6.
- IV-5 M. Yano, A. Sakiyama, H. Fujiwara, Y. Amano, S. Imada, T. Muro, M. Yabashi, K. Tamasaku, A. Higashiya, T. Ishikawa, Y. Onuki and S. Suga: “Electronic structure of CeRu₂X₂ (X=Si, Ge) in the paramagnetic phase studied by soft x-ray ARPES and hard x-ray photoelectron spectroscopy”, *Phys. Rev. B* **77** (2008) 035118-1-8.
- IV-6 H. Mimura, H. Yumoto, S. Matsuyama, S. Hanada, T. Kimura, Y. Sano, M. Yabashi, Y. Nishino, K. Tamasaku, T. Ishikawa and K. Yamauchi: “Direct determination of the wave field of an x-ray nanobeam”, *Phys. Rev. A* **77** (2008) 015812-1-4.
- V-1 Y. Fukuyama, N. Yasuda, J. Kim, H. Murayama, T. Ohshima, Y. Tanaka, S. Kimura, H. Kamioka, T. Ishikawa and M. Takata: “Ultra-high-precision time control system over any long time delay for laser pump and synchrotron x-ray probe experiment”, *Rev. Sci. Instrum.* **79** (2008) 045107-1-4.

- V-2 T. Sato, T. Okino, K. Yamanouchi, A. Yagishita, F. Kannari, K. Yamanaka, K. Midorikawa, H. Nakano, M. Yabashi, M. Nagasono and T. Ishikawa:
“Dissociative two-photon ionization of N₂ in extreme ultraviolet by intense self-amplified spontaneous emission free electron laser light”, Appl. Phys. Lett. **92** (2008) 154103-1-3.

大学院理学研究科

博士前期課程

岸田彰憲：X線蛍光分析による核変換現象の研究

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