

X線干渉光学研究室

Coherent X-Ray Optics Laboratory

主任研究員 石川 哲也
ISHIKAWA, Tetsuya

当研究室は、大型放射光施設（SPring-8）からの高可干渉性 X 線を利用した様々な X 線干渉計・X 線干渉利用計測法の開発研究を行っている。また、可干渉 X 線を用いて、高エネルギー分解能測定、高運動量分解能測定等の高分解能測定を行う際に必要となる各種光学素子とその精密調整技術、精密調整機器の開発研究を行っている。さらに、レーザー光と放射光の精密同期技術を開発しその応用研究を行っている。

1. X線干渉計および干渉計測法の開発（玉作，西野，香村，矢橋^{*1}，Miao^{*1}，Johnson^{*1}，Durkin^{*1}，Nikulin^{*1}，Darahanau^{*3}，櫻井^{*3}，石川（哲））

放射光を利用した新しい X 線干渉計の開発を SPring-8 の理研物理科学研究所用ビームライン I（BL29XUL）および II（BL19 LXU）で進めている。

当研究室で開発研究されてきた X 線干渉計測とコインシデンス測定の組み合わせによる応用研究として、X 線フーリエ分光法の開発を進めてきた。そのために必要な X 線マイケルソン干渉計に 2 つの独立な結晶を用いて、時間方向のみの光路差をつけることに成功した。また結晶を分離することにより、最大光路差を 6 mm まで増加させた。これにより高分解能結晶分光器と時間領域測定のための空白領域での分光が初めて可能となった。一方で、コインシデンス測定では干渉の位相情報が欠落する問題点があるが、反復法により位相を回復することに成功し、背面反射のスペクトルの測定に応用された。この成功は X 線領域でのファブリ・ペロー干渉計の検証への一歩となる。またこれまで蓄積されたコインシデンス測定の長所短所から、重力場での光のレッドシフト観測の方法論が検討されつつある。

BL19LXU では、シングルパスのハンブリーブラウン・ツイス型 X 線強度干渉計が開発されてきたが、本年度ビームスプリッターを用いた強度干渉計測が試みられた。シリコン単結晶での透過型配置でのブラッグ反射をスプリッターとして用い、その下流に 2 つの可動スリットと検出器が設置して強度相関計測を行った。その結果、スプリッター散乱面内では結晶内に生じる Borrmann ファンの影響によるコヒーレンスの大きな乱れが観測されたが、散乱面と直交方向にはこの影響は観測されなかった。すなわち、後者の配置をとることで、入射光の空間コヒーレンスプロファイルのより精密な測定が可能となることが実証された。

新しい X 線位相計測手法として昨年度までにほぼ確立した X 線プリズムを利用したニ光束干渉計の応用に向けての開発研究が進められた。検出器窓の均一性を向上させることにより、位相像でのバックグラウンドを 1/100 波長以下に低減させ、高精度での試料の光学的厚みの決定が可能となった。位相回復手法として、検出器から遠距離に試料を設置しフレネル回折を補正するホログラフィー再生法、および近距離に設置し微分位相を計測する 2 つの方法を試み、と

もに有用性が示された。試料の回転と組み合わせたトモグラフィ的な手法を開発し、軽元素からなる試料の電子密度の三次元分布を求める計測もなされた。ビームラインの真空封止に用いられているベリリウム窓中の欠陥の分布やサイズの計測に適用し、製法が異なる試料ごとに欠陥のサイズを定量的に評価することができた。

IIa 型人工ダイヤモンドは次世代の放射光 X 線干渉光学素子として注目されている。この観点から放射光を用いて詳細な評価を行った。その結果、結晶内に積層欠陥と見られる構造が存在するが、準平面波入射の条件下で理論曲線に近いロッキングカーブが得られた。現状では結晶を選別すれば、多くの場合実用上支障のないレベルに達した結晶を利用できることが判明した。一方で、コヒーレントな次世代光源での利用を考えると、結晶成長側と連携して積層欠陥をさらに減らしてゆく必要性が明らかになった。

Stanford 線形加速器センターと協力して、コヒーレント X 線入射で得られるフラウンホーファー回折パターンから数学的に位相を回復して実空間構造に戻す方式の三次元 X 線回折顕微鏡開発を、昨年度に引き続き進めた。X 線回折顕微鏡における像再生では従来、硬 X 線回折実験で得ることができない前方付近の回折強度情報を、軟 X 線結像顕微鏡等での低空間分解能試料像データを用いて補う必要があり、これが時分割イメージング測定等の重要な応用を妨げる大きな問題であった。位相回復法の改良に取り組むことにより、硬 X 線回折データのみから試料像再生が可能であることを示した。また実験装置においても、より前方の回折データを測定できるようにするなど欠損情報を少なくする改良を行った。これらデータ解析法および実験装置の改良により、硬 X 線回折データ取得の際に逐次的に試料像再生を行える技術が整った。

2. 精密光学素子調整技術と調整機器の開発（香村，玉作，西野，田中（良），山本，高田（昌）^{*1}，上野（剛）^{*2}，熊坂^{*1}，山下^{*1}，廣瀬^{*1}，山野^{*1}，長谷川^{*1}，山内^{*1}，山村^{*1}，佐野^{*1}，遠藤^{*1}，斎藤^{*1}，打越^{*1}，三村^{*3}，木下^{*3}，新林^{*3}，上野（一）^{*3}，尾崎^{*3}，松山^{*3}，湯本^{*3}，志村^{*1}，郷原^{*1}，本島^{*1}，渡邊^{*1}，日高^{*1}，勝矢^{*1}，林^{*1}，Baron^{*1}，Nikulin^{*1}，上田^{*4}，石川（大）^{*5}，Ikonen^{*1}，伊藤^{*1}，蒲池^{*6}，清水^{*6}，岩村^{*1}，勝矢^{*1}，Klysubun^{*1}，

Kuyumchyan^{*1}, 正木^{*1}, Paradis^{*1}, Rostmyan^{*1}, 坂野^{*1}, 石川 (哲); 高田 (恭) (放射光物性研究室))

昨年度の BL29XUL への集光ミラー装置設置に引き続き、本年度は BL19LXU に集光ミラーを設置した。このビームラインでは、様々な X 線干渉実験が展開されているとともに、フェムト秒レーザーと放射光 X 線パルスを組み合わせた高速現象解析や非線形光学研究、また連携研究チームによる磁性材料研究や表面構造研究に利用されているが、集光ミラー設置に伴う光束密度の向上は多方面での計測時間短縮に繋がることが期待される。BL19LXU では、従来からの手法に加えて新たに、X 線共鳴非弾性散乱計測のための光学装置開発が進められた。本年度は、従来型のローランド配置に則ったスペクトロメータを試作し、幾つかの銅酸化物の RIXS スペクトルを測定した。現時点ではまだプレリミナリな段階ではあるが、既に世界最高レベルの分解能と信号強度に到達している。来年度以降の光学系の最適化と検出系の改良により、現状の 1/10 程度の分解能に到達することが予想される。

BL29XUL では、従来から設置されていた輸送チャンネルのスリットを改良し、数十ミクロンのサイズでの高い安定性と開口の再現性を実現した。また、これに伴ってスリットの位置を輸送チャンネルミラーの上流から下流に移した。この結果ミラーで跳ね上げた X 線ビームのみを実験ハッチに導入することが可能となった。

大阪大学超精密科学研究センターで開発された Chemical Vaporization Machining および Elastic Emission Machining によって研磨された楕円面 X 線ミラーを Kirkpatrick-Baez 配置に組み合わせた二次元集光機構を用いて、サブミクロン分解能での走査型蛍光 X 線顕微鏡を開発した。これを用いて金属原子を含む抗がん剤のがん細胞内での分布の精密計測を行っている。抗がん剤投与後の細胞内微量金属分布および含有量が時間とともに特異的に変化することを見だし、また薬剤耐性を獲得した細胞株と獲得していない細胞株の間に微量金属元素分布の際立った差異を認めた。これは薬剤耐性の分子機構解明の手がかりを与えるものと期待され、その方向での研究を進めるとともに、薬剤耐性をブロックする化学的処方についての検討を行っている。

高輝度光科学研究センターの関連研究者と協力して立ち上げてきた超高分解能 X 線非弾性散乱計測装置では、中性子では測定不可能な大きさの単結晶サンプルでのフォノン分散計測や、液体金属中のフォノン計測が展開されている。本年度は高温超伝導に関連して注目を集めている MgB₂ のフォノン分散計測に成功し、また液体水銀中のフォノン計測が行われた。放射光物性研究室と協力し、硬 X 線励起での X 線光電子分光測定を物理科学ビームライン I で展開してきたが、当研究室は入射 X 線光学系を主として担当し、一層の高分解能化に向けた開発研究を進めている。

理研構造ゲノムビームライン II (BL26B2) では、タンパク質結晶構造解析の迅速回折強度測定を目標に開発を進めている、特に、全自動回折強度測定を重点項目として開発が進められており、そのためのサンプルチェンジャーの試作開発が進められた。将来的な微小結晶構造解析に向けて、一方で結晶分光器での水平集光と湾曲平板ミラーでの垂直集光の組み合わせにより集光効率の増大を図るととも

に、他方でアンジュレータビームラインを用いた高精度ゴニオメータと高分解能 IP 検出器による予備実験が進められている。このような開発研究を基に、次世代高精度ゴニオメータおよび高速高感度検出器についての検討を進めた。

3. 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 (田中 (義), 玉作, 箕曲^{*1}, 林^{*3}, 村木^{*4}, 桐村^{*3}, 首藤^{*1}, 久我^{*1}, 鳥井^{*1}, 石川 (哲); 原 (X 線超放射物理学研究室))

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光励起電子・格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進めている。昨年度までに X 線ストリークカメラ・APD 検出器等の高速 X 線計測システムの整備を終了し、X 線の時間構造計測やフェムト秒レーザー光と X 線パルスとの精密同期方式を開発してきた。本年度はこれらを利用して、レーザー光誘起格子ダイナミクスやレーザー光誘起構造相転移を X 線をプローブとして観察する研究を展開している。光誘起格子ダイナミクス研究では、高分解能 X 線回折法を用いてガリウムヒ素単結晶での光誘起格子振動の解析を行うとともに、フェムト秒レーザー照射による結晶表面近傍での数十ピコ秒以下の時間領域での早い非等方的格子膨張を観測した。また光誘起構造相転移研究では、マンガン酸化物系試料での構造相転移を X 線回折により観測し、レーザー照射の影響を確認するための条件を整えた。また、極薄膜単結晶での X 線回折計測を行い、極薄膜系とレーザー照射との組み合わせによる新たな評価方法を検討している。

X 線散乱計測の光誘起脱離過程研究への応用の準備として、ハロゲンを吸着させたシリコン単結晶表面からのレーザー光誘起脱離分子に関して、パルスカウンティング型での質量分析を行っている。同様に、孤立原子系を X 線励起して得られる多価イオンのトラップ装置の開発として、トラップ用電子ビーム系を整備した。

^{*1} 共同研究員, ^{*2} 協力研究員, ^{*3} 研修生, ^{*4} 研修生 (姫工大大学院), ^{*5} ジュニア・リサーチ・アソシエイト, ^{*6} 委託研究生

1. X-Ray interferometers and interferometry

X-ray interferometry using photon-correlation technique has been applied to x-ray Michelson interferometer with separated optical elements, which are used for the Fourier-Transformed X-Ray Spectroscopy. A new version of x-ray intensity interferometer using a beam splitter was tested. A two-beam x-ray interferometer using an x-ray prism as a splitter has been extended to holographic imaging. Defects in Be windows were characterized with this method. Synthetic IIa diamond crystals were tested with both x-ray topography and diffractometry. Coherent scattering imaging developed in collaboration with researchers from the Stanford Linear Accelerator Center was improved to render the nanoscopic structures only from the x-ray scattering data.

2. High precision x-ray optics and optical instruments

We are upgrading the RIKEN beamlines to enhance their capability. A double mirror with vertical focusing capability was installed in BL19XLU to enhance the x-ray flux density at the sample position. A new x-ray spectrometer for resonant inelastic scattering measurement has been introduced in BL19XLU. A new slit system with finer adjustability and higher positional reproducibility was developed and installed downstream of the x-ray mirrors in BL29XU.

Scanning x-ray fluorescence microscopy has been applied to determine the positional distribution of metals in cancer cells by using the nano-focusing optics composed of ultra-high precision mirrors fabricated in Osaka University. Temporal change in concentration of certain metals led a clue of clarifying the anti-drug mechanism.

A high resolution x-ray inelastic scattering apparatus developed in collaboration with JASRI was found to have high capacity of phonon-dispersion measurement with small samples inaccessible with neutrons. Phonon dispersion of MgB₂ was clearly measured with a small single crystal sample. Phonons in liquid metals were measured as well. In collaboration with Soft X-ray Spectroscopy Laboratory, JASRI and outside universities, high-energy X-ray Photoelectron Spectroscopy is being developed, and has already been applied to many sample systems inaccessible with conventional XPS.

A new focusing optics was devised in the High-Throughput Beamline (BL26B1/B2) for protein crystallography. Combination of sagittal horizontal focusing by a crystal monochromator with vertical focusing by a bent x-ray mirror reduced the focal size. Applicability of the beamline to smaller protein crystal samples was greatly enhanced.

3. Pulse synchronization between laser and SR, and its applications

Multi-photon processes in x-ray region, non-linear x-ray optical processes and various pump-probe measurements are the targets of the subject. A fast x-ray detection system prepared in previous years was applied to time-resolved scattering measurement involving photo-induced lattice dynamics and photo-induced phase transition. Photo-induced standing-wave vibration was observed in GaAs wafer as well as anisotropic thermal lattice expansion in ps time range. Manganese oxides systems were surveyed as candidates for the photo-induced phase transition.

Research Subjects and Members of Coherent X-Ray Optics Laboratory

1. X-Ray interferometer and interferometry
2. High precision x-ray optics and optical instruments
3. Pulse synchronization between laser and SR, and its applications

Head

Dr. Tetsuya ISHIKAWA

Members

Dr. Yoshiki KOHMURA

Dr. Yoshihito TANAKA

Dr. Yoshikazu TANAKA
Dr. Masaki YAMAMOTO
Dr. Kenji TAMASAKU
Dr. Yoshinori NISHINO
Mr. Go UENO*

* Contract Researcher

in collaboration with

Dr. Toru HARA (Coherent Synchrotron Light Source Physics Lab.)

Dr. Yasutaka TAKATA (Soft X-Ray Spectroscopy Lab.)

Visiting Members

Dr. Alfred BARON (Mater. Sci. Div., JASRI)

Dr. Daniel DURKIN (Stanford Linear Accel. Cen., USA)

Prof. Katuyoshi ENDOH (Grad. Sch. Eng., Osaka Univ.)

Prof. Kazutoshi GOHARA (Fac. Grad. Sch. Eng., Hokkaido Univ.)

Dr. Tomokazu HASEGAWA (Rigaku Corp.)

Dr. Koichi HAYASHI (Inst. Mater. Res., Tohoku Univ.)

Dr. Raita HIROSE (Rigaku Corp.)

Prof. Masanori HIDAKA (Grad. Sch. Sci., Kyushu Univ.)

Prof. Erkki Johanes IKONEN (Helsinki Univ. Technol., Finland)

Mr. Daisuke ISHIKAWA (Grad. Sch. Eng., Kyoto Univ.)

Dr. Takehiko ISHIKAWA (Japan Aerosp. Explor. Agency)

Mr. Takehiko ITOH (Mitsubishi Heavy Ind., Ltd.)

Dr. Yasuhiro IWAMURA (Mitsubishi Heavy Ind., Ltd.)

Mr. Bart JOHNSON (Stanford Synchrotron Radiat. Lab., USA)

Dr. Yoshio KATSUYA (Protein Struct. Anal. Consortium)

Dr. Wantana KLYSUBUN (Natl. Synchrotron Res. Cen., Thailand)

Prof. Takahiro KUGA (Grad. Sch. Arts Sci., Tokyo Univ.)

Dr. Takashi KUMASAKA (Dept Life Sci., Tokyo Inst. Technol.)

Dr. Armen KUYUMCHYAN (Inst. Microelectron. Tech., Russian Acad. Sci., Russia)

Dr. Tadahiko MASAKI (Japan Aerosp. Explor. Agency)

Dr. Jianwei MIAO (Stanford Synchrotron Radiat. Lab., USA)

Mr. Arimichi MINOH (Fac. Sci., Univ. Electro-Commun.)

Dr. Hiroyuki MOTOSHIMA (Fac. Agric., Saga Univ.)

Dr. Andrei NIKULIN (Fac. Sci., Monash Univ., Australia)

Dr. Paul Francis PARADIS (Japan Aerosp. Explor. Agency)

Dr. Armen ROSTOMYAN (Yerevan State Univ., Armenia)
 Dr. Akira SAITOH (Grad. Sch. Eng., Osaka Univ.)
 Mr. Mitsuru SAKANO (Mitsubishi Heavy Ind., Ltd.)
 Dr. Yasuhisa SANO (Grad. Sch. Eng., Osaka Univ.)
 Dr. Mari SHIMURA (Res. Inst. Int. Med. Cen. Japan)
 Dr. Kenichi SHUDO (Fac. Eng., Yokohama Natl. Univ.)
 Mr. Yasuhiro SUZUKI (Res. Inst. Int. Med. Cen. Japan)
 Dr. Masaki TAKATA (JASRI)
 Prof. Yoshio TORII (Grad. Sch. Arts Sci., Tokyo Univ.)
 Dr. Junichi UCHIKOSHI (Grad. Sch. Eng., Osaka Univ.)
 Prof. Keiichi WATANABE (Fac. Agric., Saga Univ.)
 Dr. Makina YABASHI (JASRI)
 Prof. Kazuya YAMAMURA (Grad. Sch. Eng., Osaka Univ.)
 Mr. Akihito YAMANO (Rigaku Corp.)
 Dr. Eiki YAMASHITA (Inst. Protein Res., Osaka Univ.)
 Prof. Kazuto YAMAUCHI (Grad. Sch. Eng., Osaka Univ.)

Trainees

Mr. Aliaksandr DARAHAU (Sch. Phys. Mat. Eng., Monash Univ., Australia)
 Mr. Yujiro HAYASHI (Interdiscip. Grad. Sch. Eng. Sci., Kyushu Univ.)
 Mr. Noboru KAMACHI (Toyama Corp.)
 Mr. Takehiko KINOSHITA (Fac. Eng., Osaka Univ.)
 Mr. Tomoyuki KIRIMURA (Fac. Eng., Yokohama Natl. Univ.)
 Mr. Satoshi MATSUYAMA (Fac. Eng., Osaka Univ.)
 Mr. Hidekazu MIMURA (Grad. Sch. Eng., Osaka Univ.)
 Mr. Satoshi MURAKI (Fac. Sci., Himeji Inst. Technol.)
 Mr. Hideaki OZAKI (Fac. Eng., Osaka Univ.)
 Mr. Tatsuyuki SAKURAI (Fac. Sci., Himeji Inst. Technol.)
 Mr. Takashi SHIMIZU (Toyama Corp.)
 Mr. Yosuke SHINBAYASHI (Fac. Eng., Osaka Univ.)
 Mr. Tomoyasu UEDA (Fac. Sci., Himeji Inst. Technol.)
 Mr. Kazumasa UENO (Fac. Eng., Osaka Univ.)
 Mr. Hirokatsu YUMOTO (Fac. Eng., Osaka Univ.)

誌 上 発 表 Publications

[雑誌]

(原著論文) *印は査読制度がある論文

Otake Y., Tasaki S., Ebisawa T., Fukunaga T., Achiwa N., and Hino M.: “Decoherence and spin interferometry experiments using mechanical alloying samples”, J. Phys. Soc. Jpn. **70**, Suppl. A, pp. 501–503 (2001). *

Tamasaku K. and Ishikawa T.: “Goos-Hänchen effect at Bragg diffraction”, Acta Cryst. A **58**, 408–409 (2002). *

Yamazaki H. and Ishikawa T.: “Propagation of X-ray

coherence for diffraction of perfect crystals”, J. Appl. Cryst. **35**, 314–318 (2002). *

Souvorov A., Yabashi M., Tamasaku K., Ishikawa T., Mori Y., Yamauchi K., Yamamura K., and Saito A.: “Deterministic retrieval of surface waviness by means of topography with coherent X-rays”, J. Synchrotron Rad. **9**, 223–228 (2002). *

Yamauchi K., Yamamura K., Mimura H., Sano Y., Saito A., Souvorov A., Yabashi M., Tamasaku K., Ishikawa T., and Mori Y.: “Nearly diffraction-limited focusing of hard X-ray beam by elliptically figured mirror”, J. Synchrotron Rad. **9**, 313–316 (2002). *

Yabashi M., Tamasaku K., and Ishikawa T.: “Measurement of x-ray pulse widths by intensity interferometry”, Phys. Rev. Lett. **88**, 244801-1–244801-4 (2002). *

Miao J., Ishikawa T., Johnson B., Anderson E. H., Lai B., and Hodgson K. O.: “High resolution 3D x-ray diffraction microscopy”, Phys. Rev. Lett. **89**, 088303-1–088303-4 (2002). *

Vemuru K. V., Suzuki M., Kawamura N., Ishikawa T., and Kohori Y.: “Iridium $L_{2,3}$ edge magnetic circular dichroism study of 5d moment formation in ferromagnetic Ir-Fe alloys”, Physica B **312/313**, 647–649 (2002). *

Krishnamurthy V. V., Suzuki M., Kawamura N., and Ishikawa T.: “X-ray magnetic circular dichroism at Ir $L_{2,3}$ edges in $Fe_{100-x}Ir_x$ and $Co_{100-x}Ir_x$ alloys: Magnetism of 5d electronic states”, Pramana J. Phys. **58**, 761–768 (2002). *

Mori Y., Yamauchi K., Yamamura K., Mimura H., Sano Y., Saito A., Ueno K., Endo K., Souvorov A., Yabashi M., Tamasaku K., and Ishikawa T.: “Sub-micron focusing of hard X-ray beam by elliptically figured mirrors for scanning X-ray microscopy”, Proc. SPIE-Int. Soc. Opt. Eng. **4782**, 58–64 (2002). *

Yabashi M., Tamasaku K., and Ishikawa T.: “Applications of x-ray intensity interferometry”, Proc. SPIE-Int. Soc. Opt. Eng. **4782**, 122–131 (2002). *

Tamasaku K., Yabashi M., Miwa D., Mochizuki T., and Ishikawa T.: “Performance of cryogenically cooled monochromators at SPring-8”, Proc. SPIE-Int. Soc. Opt. Eng. **4782**, 132–142 (2002). *

Yamamura K., Mimura H., Yamauchi K., Sano Y., Saito A., Kinoshita T., Endo K., Mori Y., Souvorov A., Yabashi M., Tamasaku K., and Ishikawa T.: “Aspheric surface fabrication in nm-level accuracy by numerically controlled plasma chemical vaporization machining (CVM) and elastic emission machining (EEM)”, Proc. SPIE-Int. Soc. Opt. Eng. **4782**, 265–270 (2002). *

Yamauchi K., Yamamura K., Mimura H., Sano Y., Saito A., Kanaoka M., Endo K., Souvorov A., Yabashi M., Tamasaku K., Ishikawa T., and Mori Y.: “Wave-optical analysis of sub-micron focusing of hard X-ray beam by reflective optics”, Proc. SPIE-Int. Soc. Opt. Eng. **4782**, 271–276 (2002). *

- Kuyumchyan A., Isoyan A., Shulakov E., Aristov V., Kondratenkov M., Snigirev A., Snigireva I., Souvorov A., Tamasaku K., Yabashi M., Ishikawa T., and Trouni K.: “High efficiency and low absorption Fresnel compound zone plates for hard X-ray focusing”, *Proc. SPIE-Int. Soc. Opt. Eng.* **4783**, 92–96 (2002). *
- Kobayashi K., Yabashi M., Takada Y., Tokushima T., Shin S., Tamasaku K., Miwa D., Ishikawa T., Nohira H., Hattori T., Sugita Y., Nakatsuka O., Sakai A., and Zaima S.: “High resolution-high energy x-ray photoelectron spectroscopy using third-generation synchrotron radiation source, and its application to Si-high k insulator systems”, *Appl. Phys. Lett.* **83**, 1005–1007 (2003). *
- Yamazaki H. and Ishikawa T.: “X-ray interferometer using wavefront division”, *J. Appl. Cryst.* **36**, 213–219 (2003). *
- Kohmura Y., Ishikawa T., Takano H., and Suzuki Y.: “Shearing x-ray interferometer with an x-ray prism”, *J. Appl. Phys.* **93**, 2283–2285 (2003). *
- Siu K. K., Nikulin A. Y., Wells P., Harvey E., Bigault T., Freund A. K., and Ishikawa T.: “Unambiguous x-ray phase retrieval from Fraunhofer diffraction data”, *J. Appl. Phys.* **93**, 5161–5166 (2003). *
- Siu -. K., Nikulin A. Y., Zaumseil P., Yamazaki H., and Ishikawa T.: “Application of phase-retrieval x-ray diffractometry to carbon doped SiGe(C)/Si(C) superlattice structures”, *J. Appl. Phys.* **94**, 1007–1012 (2003). *
- Imamura H., Fushinobu S., Yamamoto M., Kumasaka T., Jeon B. S., Wakagi T., and Matsuzawa H.: “Crystal structures of 4- α -glucanotransferase from *Thermococcus litoralis* and its complex with an inhibitor”, *J. Biol. Chem.* **278**, 19378–19386 (2003). *
- Andrei N., Souvorov A., Goodden K., Tamasaku K., and Ishikawa T.: “X-ray multi-beam diffraction and imaging at a 90° Bragg reflection with partially coherent radiation”, *J. Phys. D* **36**, A87–A92 (2003). *
- Kawakita Y., Hosokawa S., Enosaki T., Ohshima K., Takeda S., Pilgrim W., Tsutsui S., Tanaka Y., and Baron A.: “Coherent dynamic scattering law of divalent liquid Mg”, *J. Phys. Soc. Jpn.* **72**, 1603–1606 (2003). *
- Yamauchi K., Yamamura K., Mimura H., Sano Y., Saito A., Endo K., Souvorov A., Yabashi M., Tamasaku K., Ishikawa T., and Mori Y.: “Two-dimensional submicron focusing of hard X-ray by two elliptical mirrors fabricated by plasma chemical vaporization machining and elastic emission machining”, *Jpn. J. Appl. Phys.* **42**, 7129–7134 (2003). *
- Shirao T., Shudo K., Tanaka Y., Ishikawa T., and Tanaka M.: “Thermal effect of picosecond-pulsed laser irradiation on Cl-adsorbed Si(111) surface”, *Jpn. J. Appl. Phys. Pt.2* **42**, L386–L388 (2003). *
- Inoue T., Irikura D., Okazaki N., Kinugasa S., Matsumura H., Uodome N., Yamamoto M., Kumasaka T., Miyano M., Kai Y., and Urade Y.: “Mechanism of metal activation of human hematopoietic prostaglandin D synthase”, *Nat. Struct. Biol.* **10**, 291–296 (2003). *
- Nikulin A. Y., Souvorov A. Y., Tamasaku K., and Ishikawa T.: “Gaussian like-shaping of coherent synchrotron X-rays”, *Phys. Lett. A* **319**, 434–438 (2003). *
- Miao J., Hodgson K. O., Ishikawa T., Larabell C. A., LeGros M. A., and Nishino Y.: “Imaging whole *Escherichia coli* bacteria by using single-particle X-ray diffraction”, *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* **100**, 110–112 (2003). *
- Suzuki M., Kawamura N., and Ishikawa T.: “Application of optical scanner to switching of x-ray photon helicities at kHz range”, *Rev. Sci. Instrum.* **74**, 19–22 (2003). *
- Yamauchi K., Yamamura K., Mimura H., Sano Y., Saito A., Ueno K., Endo K., Souvorov A., Yabashi M., Tamasaku K., Ishikawa T., and Mori Y.: “Microstitching interferometry for x-ray reflective optics”, *Rev. Sci. Instrum.* **74**, 2894–2898 (2003). *
- Yamamura K., Yamauchi K., Mimura H., Sano Y., Saito A., Endo K., Souvorov A., Yabashi M., Tamasaku K., Ishikawa T., and Mori Y.: “Fabrication of elliptical mirror at nanometer-level accuracy for hard x-ray focusing by numerically controlled plasma chemical vaporization machining”, *Rev. Sci. Instrum.* **74**, 4549–4553 (2003). *
- Takahashi H., Inagaki E., Fujimoto Y., Kuroishi C., Nodake Y., Nakamura Y., Arisaka F., Yutani K., Kuramitsu S., Yokoyama S., Yamamoto M., Miyano M., and Tahirov T. H.: “Structure and implications for the thermal stability of phosphopantetheine adenylyltransferase from *Thermus thermophilus*”, *Acta Cryst. D* **60**, 97–104 (2004). *
- Narumi Y., Katsumata K., Nakamura T., Tanaka Y., Shimomura S., Ishikawa T., and Yabashi M.: “The coexistence of magnetic phases at the first-order phase transition of a metamagnet FeCl₂·2H₂O studied by x-ray diffraction”, *J. Phys.: Condens. Matter* **16**, L57–L63 (2004). *
- (総説)
- 石川哲也, 森勇蔵: “コヒーレント X 線のための高精度全反射ミラーの開発”, *応用物理* **72**, 439–443 (2003).
- 菅原光明, 山本雅貴, 宮野雅司: “ハイスループットファクトリーとハイスループット結晶構造解析技術開発”, *生物物理* **43**, 146–149 (2003).
- 宮野雅司, 菅原光明, 山本雅貴: “タンパク質の大規模結晶構造解析または, ハイスループットファクトリーということ”, *日本結晶学会誌* **45**, 268–272 (2003).
- 北村英男, 新竹積, 石川哲也: “SPRING-8 におけるオンゲストローム FEL 開発”, *放射光* **16**, 65–76 (2003).
- 矢橋牧名, 玉作賢治, 石川哲也: “X 線領域の強度干渉法”, *放射光* **16**, 77–84 (2003).
- [単行本・Proc.]**
- (原著論文) *印は査読制度がある論文
- Nakamura T., Ohshima T., Soutome K., Takao M., Takano S., Masaki M., Suzuki Y., Yamazaki H., Tanaka H., Hara

T., Kohmura Y., and Tanaka Y.: “Low emittance operation of the SPring-8 storage ring by damping partition control”, Proc. 2001 Particle Accelerator Conf., Chicago, USA, 2001–6, IEEE, Piscataway, pp. 2665–2667 (2001).

口頭発表 Oral Presentations

(国際会議等)

Yagi N., Yamamoto M., Uesugi K., and Inoue K.: “CMOS imaging detectors as x-ray detectors for synchrotron radiation experiments”, 8th Int. Conf. on Synchrotron Radiation Instrumentation (SRI 2003), (Stanford Synchrotron Radiation Laboratory and The Advanced Light Source), San Francisco, USA, Aug. (2003).

Yamamoto M., Ueno G., Ida K., Kanda H., Kumasaka T., Miyano M., and Ishikawa T.: “High throughput protein crystallography at RIKEN structural genomics beamlines”, 8th Int. Conf. on Synchrotron Radiation Instrumentation (SRI 2003), (Stanford Synchrotron Radiation Laboratory and The Advanced Light Source), San Francisco, USA, Aug. (2003).

Aoyagi H., Kudo T., Wu S., Sato K., Sasaki S., Tanaka H., Ishikawa T., and Kitamura H.: “High-speed photon beam diagnostic system using optical cables at SPring-8”, 8th Int. Conf. on Synchrotron Radiation Instrumentation (SRI 2003), (Stanford Synchrotron Radiation Laboratory and The Advanced Light Source), San Francisco, USA, Aug. (2003).

Adachi S., Inoue K., Oka T., Yagi N., Tanaka Y., Ishikawa T., and Shiro Y.: “Subnanosecond-resolved X-ray diffraction at the SPring-8 high flux beamline BL40XU”, 8th Int. Conf. on Synchrotron Radiation Instrumentation (SRI 2003), (Stanford Synchrotron Radiation Laboratory and The Advanced Light Source), San Francisco, USA, Aug. (2003).

Tanaka Y., Muraki S., Hara T., Kitamura H., and Ishikawa T.: “Time-to-space converter for ultrashort pulsed x-ray experiments”, 8th Int. Conf. on Synchrotron Radiation Instrumentation (SRI 2003), (Stanford Synchrotron Radiation Laboratory and The Advanced Light Source), San Francisco, USA, Aug. (2003).

Tanaka Y., Staub U., Narumi Y., Katsumata K., Scagnoli V., Tabata Y., and Onuki Y.: “Non-resonant X-ray diffraction measurements on CeB₆”, Int. Conf. on Polarised Neutrons and Synchrotron X-rays for Magnetism (PNSXM 2003), (ICM), Venice, Italy, Aug. (2003).

Ishikawa T., Tamasaku K., Ueda T., and Ohashi H.: “Can synthetic diamond crystals preserve x-ray coherence?”, SPIE's 48th Ann. Meet., Int. Symp. on Optical Science and Technology, San Diego, USA, Aug. (2003).

Mori Y., Yamauchi K., Yamamura K., Mimura H., Saito A., Sano Y., Endo K., Souvorov A., Yabashi M., Tamasaku K., Ishikawa T., Shimura M., and Ishizaka Y.: “Fabrication technology of hard x-ray aspherical mirror optics and application to nanospectroscopy”, SPIE's 48th Ann. Meet., Int. Symp. on Optical Science and

Technology, San Diego, USA, Aug. (2003).

Nishino Y., Ohashi H., and Ishikawa T.: “Stability issues of the use of coherent x-rays”, SPIE's 48th Ann. Meet., Int. Symp. on Optical Science and Technology, San Diego, USA, Aug. (2003).

Shudo K., Kirimura T., Kaneko N., Takahashi M., Tanaka Y., Ishikawa T., and Tanaka M.: “Nano-cluster formation in halogen etching on Cl/Si(111)-7 × 7”, 22nd European Conf. on Surface Science (ECOSS 22), Praha, Czech, Sept. (2003).

Kirimura T., Shirao T., Shudo K., Tanaka Y., Ishikawa T., and Tanaka M.: “Surface modification of Cl-adsorbed Si(111)-7 × 7 irradiated by infrared pulsed laser”, 22nd European Conf. on Surface Science (ECOSS 22), Praha, Czech Republic, Sept. (2003).

Yokoya T., Shimojima T., Chainani A. A., Takada Y., Tsuda S., Takeuchi T., Kamakura N., Kanetaka F., Kiss T., Fukushima A., Shin S., Tamasaku K., Nishino Y., Ishikawa T., Kobayashi K., Namatame H., Taniguchi M., Takada K., Sasaki T., Sakurai H., and Muromachi E.: “Electronic structure of the superconducting layered oxide Na_xCoO₂·yH₂O using hard X-ray photoemission spectroscopy”, Int. Workshop on Hard X-ray Photoelectron Spectroscopy (HAXPES), (ESRF), Grenoble, France, Sept. (2003).

Chainani A. A., Kamakura N., Takada Y., Yokoya T., Taguchi M., Shimojima T., Tokushima T., Harada Y., Tsuda S., Shin S., Tamasaku K., Nishino Y., Ishikawa T., Kobayashi K., Namatame H., Taniguchi M., Takada K., Sasaki T., Sakurai H., and Muromachi E.: “High energy PES of Ni(100) and Na_xCoO₂·yH₂O”, 4th Korea-Japan Workshop on Strongly Correlated Systems and 1st Japan-Korea-Taiwan Workshop on Condensed Matter Physics, (JSPS, KOSEF, and others), Nagano, Sept. (2003).

Yamamoto M.: “High throughput PX beamlines at SPring-8”, 3rd CCLRC-JASRI Symp., Harima, Jan. (2004).

(国内会議)

西野吉則: “X線回折顕微鏡”, 理研シンポジウム「次世代の生命科学を拓くオングストローム X線レーザー」, 和光, 6月 (2003).

田中良和, 田畑吉計, 中村哲也, 鳴海康雄, 勝又紘一, 玉作賢治, 石川哲也: “X線共鳴散乱による HoB₂C₂ の多重極子の観察”, 日本物理学会 2003 年秋季大会, 宮崎, 岡山, 9月 (2003).

田畑吉計, 谷口年史, 河原崎修三, 鳴海康雄, 田中良和, 勝又紘一, 木村尚次郎, 石川哲也, 矢橋牧名, 神木正史, 岩佐和晃: “重い電子系 Ce(Ru_{1-x}Rh_x)₂Si₂ における SDW と CDW の共存”, 日本物理学会 2003 年秋季大会, 宮崎, 岡山, 9月 (2003).

林雄二郎, 佃昇, 蔵元英一, 村木聡, 田中義人, 原徹, 北村英男, 石川哲也: “超短パルスレーザーを照射した GaAs の高速時間分解 X線回折”, 日本物理学会 2003 年秋季大会, 宮崎, 岡山, 9月 (2003).

- 山本雅貴: “SPring-8 におけるハイスループットタンパク質結晶構造解析”, 第 46 回日本神経化学学会年会・第 41 回日本生物物理学会年会合同年会, 新潟, 9 月 (2003).
- 山本雅貴: “SPring-8 放射光ビームラインでの放射線損傷”, 大阪大学蛋白質研究所セミナー放射光蛋白質結晶学における放射線損傷を如何に克服するか, 吹田, 11 月 (2003).
- 酒井久伸, 河本正秀, 二澤宏司, 後藤俊治, 山本雅貴, 石川哲也, 植木龍夫: “BL41XU の現状”, 日本結晶学会平成 15 年度年会, 熊本, 12 月 (2003).
- 長谷川和也, 上野剛, 河本正秀, 山本雅貴, 植木龍夫: “SPring-8 BL38B1 におけるタンパク質結晶解析のための新しい回折強度データ収集システムの構築”, 日本結晶学会平成 15 年度年会, 熊本, 12 月 (2003).
- 熊坂崇, 酒井伸也, 加藤悦子, 上野剛, 山本雅貴, 矢野昌裕, 井澤毅, 山崎俊正, 田中信夫: “イネ開花関連蛋白質 FT-L6 の結晶構造”, 日本結晶学会平成 15 年度年会, 熊本, 12 月 (2003).
- 上野剛, 山本雅貴, 広瀬雷太, 井田孝, 神田浩幸, 宮野雅司, 熊坂崇, 石川哲也: “構造ゲノムビームラインの自動化 II”, 日本結晶学会平成 15 年度年会, 熊本, 12 月 (2003).
- 上田智康, 玉作賢治, 三輪大悟, 石川哲也, 浅田一成, 三村秀和, 佐野泰久, 山内和人, 山村和也, 遠藤勝義, 森勇藏: “IIa 型単結晶ダイヤモンドの評価”, 第 17 回日本放射光学会年会・放射光科学合同シンポジウム, つくば, 1 月 (2004).
- 長谷川和也, 上野剛, 河本正秀, 山本雅貴, 植木龍夫: “SPring-8 BL38B1 におけるタンパク質結晶解析のための新しい回折強度データ収集システムの構築”, 第 17 回日本放射光学会年会・放射光科学合同シンポジウム, つくば, 1 月 (2004).
- 山下栄樹, 吉村政人, 山本雅貴, 吉川信也, 中川敦史, 月原富武: “SPring-8 生体超分子複合体結晶構造解析ビームライン”, 第 17 回日本放射光学会年会・放射光科学合同シンポジウム, つくば, 1 月 (2004).
- 河本正秀, 酒井久伸, 二澤宏司, 後藤俊治, 山本雅貴, 石川哲也, 植木龍夫: “SPring-8 構造生物学 1 ビームライン BL41XU の現状”, 第 17 回日本放射光学会年会・放射光科学合同シンポジウム, つくば, 1 月 (2004).
- 清水伸隆, 井上勝品, 三浦圭子, 八木直人, 山本雅貴, 植木龍夫: “SPring-8 構造生物学 2 ビームライン BL40B2 の現状”, 第 17 回日本放射光学会年会・放射光科学合同シンポジウム, つくば, 1 月 (2004).
- 玉作賢治, 矢橋牧名, 石川哲也: “X 線 Michelson 干渉計によるスペクトル測定”, 第 17 回日本放射光学会年会・放射光科学合同シンポジウム, つくば, 1 月 (2004).
- 西野吉則, Miao J., 石川哲也: “オーバーサンプルされた X 線回折強度のみからのナノ構造試料像の再生”, 第 17 回日本放射光学会年会・放射光科学合同シンポジウム, つくば, 1 月 (2004).
- 田中義人: “ピコ秒時間分解 X 線回折法を用いた光誘起現象観測の現状と展望”, 第 17 回日本放射光学会年会・放射光科学合同シンポジウム, つくば, 1 月 (2004).
- 山本和矢, 鎌倉望, 田口宗孝, Chainani A. A., 高田恭孝, 堀場弘司, 辛埴, 池永英司, 三村功次郎, 志賀正幸, 和田裕文, 生天目博文, 谷口雅樹, 淡路晃弘, 玉作賢治, 石川哲也, 小林啓介: “硬 X 線による $\text{EuNi}_2(\text{Si}_{0.20}\text{Ge}_{0.80})_2$ の内殻光電子分光”, 第 17 回日本放射光学会年会・放射光科学合同シンポジウム, つくば, 1 月 (2004).
- 村木聡, 田中義人, 林雄二郎, 山崎裕史, 原徹, 北村英男, 石川哲也: “単色平行 X 線ビームによる Si 薄膜単結晶からの回折”, 第 17 回日本放射光学会年会・放射光科学合同シンポジウム, つくば, 1 月 (2004).
- 上野剛, 山本雅貴, 広瀬雷太, 福本祐史, 村上博則, 石川哲也: “理研構造ゲノムビームラインの現状”, 第 17 回日本放射光学会年会・放射光科学合同シンポジウム, つくば, 1 月 (2004).
- 山本雅貴: “SPring-8 におけるタンパク質結晶構造解析”, 放射光イノベーションセミナー, (兵庫県, ひょうご科学技術協会), 神戸, 2 月 (2004).
- 堀場弘司, 田口宗孝, 鎌倉望, 山本和矢, Chainani A. A., 高田恭孝, 池永英司, 生天目博文, 谷口雅樹, 淡路晃弘, 竹内晃久, 玉作賢治, 石川哲也, 組頭広志, 尾嶋正治, Lippmaa M., 川崎雅司, 鯉沼秀臣, 小林啓介, 辛埴: “硬 X 線を用いた $\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x\text{MnO}_3$ 薄膜の $\text{Mn}2p$ 内殻光電子分光”, 日本物理学会第 59 回年次大会, 福岡, 3 月 (2004).
- 桐村知行, 首藤健一, 田中義人, 石川哲也, 田中正俊: “ピコ秒紫外レーザー照射による塩素吸着 $\text{Si}(111)$ 表面の新しい光励起脱離の特性”, 日本物理学会第 59 回年次大会, 福岡, 3 月 (2004).
- 林雄二郎, 佃昇, 蔵元英一, 村木聡, 田中義人, 原徹, 北村英男, 石川哲也: “超短パルスレーザー照射 GaAs の広域時間分解 X 線回折”, 日本物理学会第 59 回年次大会, 福岡, 3 月 (2004).