

PRESENT STATUS OF THE ELECTRON STORAGE RING TERAS OF AIST IN 2006

*H. Toyokawa, K. Awazu, H. Ikeura-Sekiguchi, A. Kinomura, T. Kaihori, F. Kaneko, M. Koike, R. Kuroda,
Y. Morishita, T. Ohdaira, N. Oshima, H. Ogawa, T. Saito, N. Saito, N. Sei, R. Suzuki, M. Tanaka, K. Yagi-Watanabe,
K. Yamada, M. Yasumoto, T. Zama
National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST)
1-1-1 Umezono, Tsukuba, IBARAKI 3058568

Abstract

Present status and the recent research activities using TERAS, an electron storage ring dedicated for the synchrotron light source of AIST, have been briefly summarized.

産総研電子蓄積リングTERASの現状2006

1. はじめに

産総研電子蓄積リングTERASは1981年に電子蓄積を達成して以来、真空紫外から軟X線放射光施設として利用されてきた^[1]。建設時のコストを低減するため、300 MeVで入射し、最大800 MeVまでエネルギーを上昇させる設計となっている。通常は760 MeV、蓄積電流200 - 300 mA程度で運転するが、実験目的に応じて300 - 800 MeVまで調整可能である。TERASの概略図を図1に、ラティスを図2に、放射光スペクトルを図3に示す。臨界波長は490 eVである。主なマシンパラメータを表1にまとめる

表1 産総研TERASの主なマシンパラメータ

入射エネルギー	300 MeV
最大エネルギー	800 MeV
lattice周期数	4
周長	31.4 m
ν_x	2.258
ν_y	1.311
α	0.120
ζ_x	-2.965
ζ_y	-2.891
エミッタンス (760 MeV)	570 nm rad
加速周波数	171.7 MHz
加速電圧	65 kV
シンクロトロン周波数	52 kHz

TERASには、現在約10本の放射光利用ビームラインがある。表2に各ビームラインの概要を示す。産総研は旧・工業技術院傘下の研究所群で構成されているため、国家標準に関連する研究を行っており、TERASにおいても標準関係のビームラインが多いことが特徴である。また、レーザーコンプトン^[2]やOnuki型偏光可変アンジュレータ^[3]などのユニークな光源開発も古くから行われており、それらの応用研究も活発である。これらの光源は、主として共同

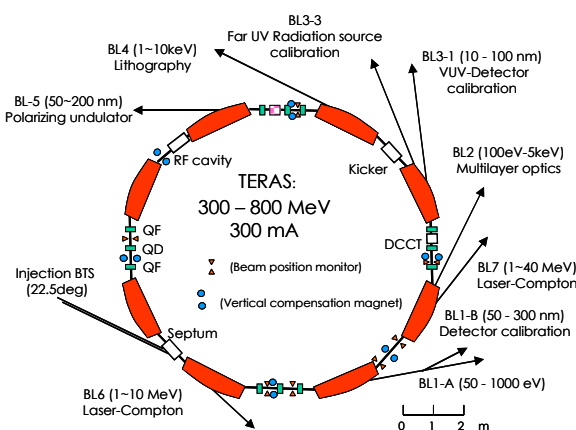


図1 産総研電子蓄積リングTERASと各ビームライン

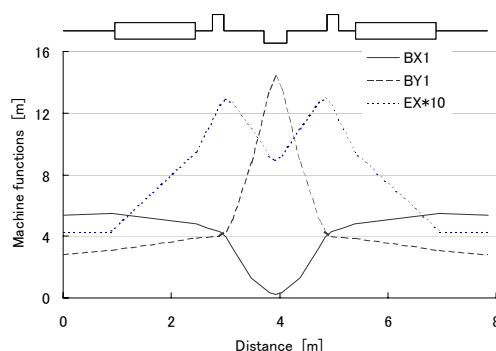


図2 TERASの振幅および分散関数。

研究という形で、産総研内部、大学、他研究機関などで利用されており、施設の一部はユーザに広く開放されている。

* E-mail: h.toyokawa@aist.go.jp

2. 最近の研究成果

2.1 BL1-A : 軟X線標準研究

電離箱により確立した軟X線絶対強度標準の供給を2005年度から開始している。フォトダイオード、金属カソードなどの校正を行なっている。軟X線のエネルギー範囲は100 - 1000 eVで、不確かさは5 - 15 %程度である。現在、同標準用に極低温カロリメータを開発している。キャビティ部分を改造することによって、軟X線強度の不確かさを5 %から1 %以下に小さくすることに成功した。この結果を踏まえて、極低温カロリメータを電離箱に代わって、一次標準にしていく予定である^[4]。今後はエネルギー範囲を広げていけるように開発を進める。

2.2 BL1-B, BL3-1 : 光伝導型ダイヤモンド薄膜紫外線センサの光応答特性評価

高配向性ダイヤモンド薄膜光伝導型紫外線センサについて、BL3-1(トロイダル回折格子分光器)およびBL1-B(瀬谷波岡型分光器)を用いて、10 - 60 nmおよび50 - 300 nmの波長域で特性評価の研究を行っている^[5, 6]。ダイヤモンドはバンドギャップが大きいことから、迷光の影響が避けられること、材料の耐久性・耐熱性が高いことから紫外-真空紫外の精密計測用センサとしての利用が期待されている。これまでの研究により、光電子放出電流の寄与、結晶界面での欠陥によると思われるキャリア・トラップに起因する問題が確認されたが、高光子束の条件下では満足すべき特性が確認された。照射耐性については既存の検出器をはるかに凌ぐ安定性が確認された。

2.3 BL3-3 : 紫外・真空紫外校正装置の偏光特性、及び、その空間分布

紫外・真空紫外(波長域160-310 nm)の絶対放射束校正のためには、シンクロトロン放射(SR)が

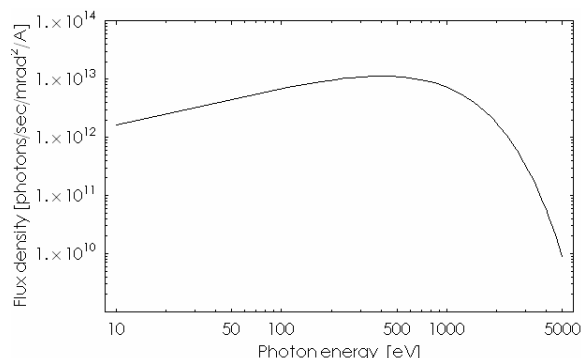


図3 Terasの放射光スペクトル

一次標準光源として最適であるが、SRは軌道面に強く偏光しているのに対して、被測定放射源は殆ど偏光していない。そのため、校正光学系を単純なコンパレータとして扱う事は不可能で、校正光学系の偏光特性を評価し、補正する必要がある。

不完全偏光子・位相子を2つ組み合わせたポラリメータを用いた場合、偏光特性を表す項に対しては解析的を導出することが可能で、不確かさの厳密な評価が容易になるが、これらを用いて校正光学系の偏光特性の空間分布を評価し、併せて入射光偏光純度が完全でない場合に見込まれる不確かさを評価した^[7, 8]。

2.4 BL4 : サブミクロン2次元および3次元フォトリソグラフィ結晶製作技術の研究

TERASの放射光ビームラインにおいて、Deep X-ray lithographyとliquid phase depositionを用いたナノインプリント技術によってフォトリソグラフィ素子を製作する技術開発を行っている。偏向電磁石からの放射光において波長3 - 6 Å程度の軟X線を、X線マスクを通してPMMAに照射する。その後、PMMAをTiOSO₄溶液に浸すことでTiO₂が析出し、任意の構造のTiO₂フォトリソグラフィ素子を製作することができる。本手法によってサブミクロンオーダーの二次元フォ

表2 Terasのビームライン

ビームライン	光源	分光方法	たは波長範囲	利用できる機器類	目的	担当者
BL1-A	放射光	グラスホッパー分光器	0.05 - 1 keV	極低温カロリメータ、多段階イオンチェンバー	軟X線標準研究	斎藤則生
BL1-B	放射光	瀬谷波岡型分光器	50 - 300 nm	高配向性ダイヤモンド薄膜光伝導型紫外線センサ	光伝導型ダイヤモンド薄膜紫外線センサの光応答特性評価	齋藤輝文
BL2	放射光	多層膜分光器	0.1 - 5 keV	Si検出器、PEEM	検出器開発、透過型PEEM開発	小池正記
BL3-1	放射光	トロイダル回折格子	10 - 100 nm	高配向性ダイヤモンド薄膜光伝導型紫外線センサ	光伝導型ダイヤモンド薄膜紫外線センサの光応答特性評価	齋藤輝文
BL3-3	放射光	マクファーソン分光器	110 - 310 nm		紫外・真空紫外の絶対放射束校正	座間達也
BL4	放射光		1 - 10 keV	三次元フォトリソグラフィ素子用照射ステージ	サブミクロン2次元および3次元フォトリソグラフィ結晶製作技術の研究	栗津浩一
BL5	偏光可変アンジュレータ	瀬谷波岡型分光器	50 - 200 nm	真空紫外領域円二色性、線二色性測定システム	偏光可変アンジュレータ光源による真空紫外領域円二色性、線二色性測定システムの開発	渡辺一寿
BL6	レーザーコンプトン散乱	鉛コリメータ	1 - 10 MeV	NaI(Tl)、HPGe、BGO、レーザー、FP共振器、他	レーザーコンプトンを用いた高エネルギーX線発生と利用	豊川弘之
BL7	レーザーコンプトン散乱	鉛コリメータ	1 - 40 MeV	NaI(Tl)、HPGe、BGO、レーザー他	レーザーコンプトンを用いた高エネルギーX線発生と利用	豊川弘之

トニック素子を製作することに成功した。また、X線照射時にサンプルを回転させることによって三次元フォトニック素子を製作することにも成功した^[9, 10]。

2.5 BL5：偏光可変アンジュレータ光源による真空紫外領域円二色性、線二色性測定システムの開発

真空紫外偏光可変アンジュレータ光を用いて、アミノ酸、糖類等の円二色性 (CD)、線二色性 (LD) を測定するシステム開発を行っている。TERASにはOnuki型アンジュレータ^[3]という偏光をAC変調できるアンジュレータが設置されており、これを測定システムと高精度で連動、制御することで、通常の偏光光源を用いては測定できない短波長領域 (140nm以下) においてもCD、LDの同時計測可能なシステム開発に成功した^[11]。現在アラニン薄膜試料で波長120~220nmにおける円二色性測定に感度0.1%で成功している^[12]。また非公式ではあるが、水溶液試料でもCD測定が可能なシステムを構築中であり、これからの利用、応用研究の進展が期待される。

2.6 BL6, 7：レーザーコンプトン散乱を用いた高エネルギーX線発生と利用

MeVオーダーのレーザーコンプトン (LCS) を用いた準単色・高透過性光子ビームの開発、およびその応用研究として、産業用非破壊検査CT装置開発^[13]、Fabry-Perot共振器を用いた高強度LCS光子ビーム開発^[14]、高レベル放射性廃棄物中に含まれる長寿命放射性核種の核変換基礎データの整備を目的とした光中性子断面積の励起関数測定^[15]、天体核物理研究などが行われている。天体核物理研究において、天然に存在する唯一の核異性体であるTa-180の起源^[16]、宇宙年代時計^[17]に関する研究などにおいて顕著な成果をあげている。

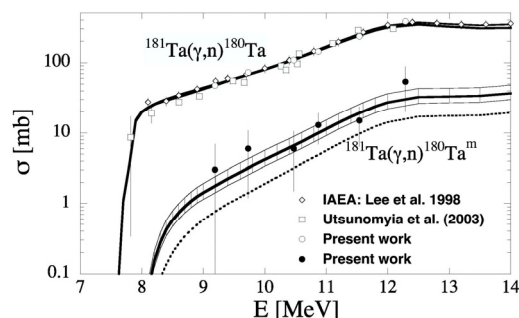


図4 Comparison between experimental and theoretical cross sections of Ta-188^[14].

3. おわりに

産総研電子蓄積リングTERASの現状を簡単にまとめた。同リングはすでに建設されてから25年余りが過ぎており、各パーツの老朽化と、それによる故障

や不具合が年に数回発生している。特に、制御機器の電気系統の故障は、IC、抵抗、コンデンサなどの代替パーツが製造中止で手に入らないことが多く、今後の運転において深刻な事態になることが懸念される。また真空管などの部品を用いているコンポーネントは、現在では半導体化されたものが多く、メーカーのサポートにも限界がある。加速器のような高電圧、大電力装置用の半導体電源となると数千万円~数億円規模の更新費が必要となる。これらの更新費用を捻出するには、現在の装置を用いて、我々が持っている知識と技術によって、対外的にも魅力ある利用施設に生まれ変わることが、何をさておいても肝要である。

TERASのビームラインでは、各々個性のある測定装置や光源開発が行われており、御興味のある方は是非担当者にコンタクトしていただきたい。

参考文献

- [1] T. Tomimasu et al., IEEE Trans. Nucl. Sci., NS-32 (1985) 3403.
- [2] T. Yamazaki et al., IEEE Trans. Nucl. Sci., NS-32 (1985) 3406.
- [3] H. Onuki, Nucl. Instrum. and Meth. A246(1986) 94.
- [4] Y. Morishita, N. Saito, I. H. Suzuki, J. Electron Spectros. Relat. Phenom., 144-147(2005)1071-1073.
- [5] T. Saito and K. Hayashi, Appl. Phys. Lett. 86(2005)122113.
- [6] T. Saito, K. Hayashi, H. Ishihara, I. Saito, Metrologia 43, S51 (2006).
- [7] T. Zama and I. Saito, Metrologia 40, S115-S119 (2003).
- [8] T. Zama and I. Saito, J. Electron Spectrosc. Relat. Phenom 144-147, 1087-1091 (2005).
- [9] X. Wang, M. Fujimaki, and K. Awazu, Optics Express 13[5](2005)1486-1497.
- [10] K. Awazu et al., J. Vac. Sci. Technol. B23[3](2005)934-939.
- [11] M. Tanaka, K. Yagi-Watanabe, T. Yamada, F. Kaneko and K. Nakagawa, Chirality, 18(2006)196.
- [12] T. Yamada, K. Yagi-Watanabe, M. Tanaka, F. Kaneko, T. Kitada, Y. Ohta, K. Nakagawa, Rev. Sci. Instrum., 76(2005)093103.
- [13] H. Toyokawa, Nucl. Instrum. and Meth. A545(2005)469-475.
- [14] H. TOYOKAWA, K. YAMADA, H. OHGAKI, S. HAYASHI, T. KII, T. YAMAZAKI and S. GOKO, Jpn. J. Appl. Phys., 44(2006)7671-7676.
- [15] H. Harada, et. al., Nucl. Instru. Meth. A554(2005)306-313.
- [16] S. Goko, H. Utsunomiya, S. Goriely, A. Makinaga, T. Kaihori, S. Hohara, A. Akimune, T. Yamagata, Y.-W. Lui, H. Toyokawa, A.J. Koning, S. Hilaire, Phys. Rev. Lett. (2006) 192501.
- [17] T. Shizuma, H. Utsunomiya, P. Mohr, T. Hayakawa, S. Goko, A. Makinaga, H. Akimune, T. Yamagata, M. Ohta, H. Ohgaki, Y.-W. Lui, H. Toyokawa, A. Uritani, and S. Goriely, Phys. Rev. C72 (2005) 025808.