様 式 C－19、F－19、Z－19 （共通）

科学研究費助成事業　　研究成果報告書

平成 27 年 6 月 12 日現在

機関番号： 82110
研究種目： 若手研究(B)
研究期間： 2013～2014
課題番号： 25790060

研究課題名（和文）軟X線発光分光法による薄膜型太陽電池の非破壊的電子状態分析技術の確立

研究課題名（英文）Development of nondestructive evaluation technique of electronic states of thin-film solar cells by soft X-ray emission spectroscopy

研究代表者
今園 孝志（Imazono, Takashi）

独立行政法人日本原子力研究開発機構・原子力科学研究部門 量子ビーム応用研究センター・研究副主幹

研究者番号：50370359

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費）　　2,700,000円

研究成果の概要（和文）：軟X線発光分光法を用いて薄膜型CIS（Cu、In、Se）化合物系太陽電池における光吸収層の非破壊的電子状態分析技術を確立することを目的に、1～3.5 keV領域にあるCu、In、Se等のL発光スペクトルを同時計測するための広帯域Ni/C多層膜回折格子分光器を開発した。具体的には、イオンビームスパッタ法で非周期構造のNi/C多層膜を積層した回折格子及びトロイダル前置鏡を製作し、放射光を用いてそれらの光学特性を評価した。その結果、本研究で考案した非周期Ni/C多層膜は回折格子の回折効率及び反射鏡の反射率の広帯域化に有効であることを実験的にも確認することができた。

研究成果の概要（英文）：The purpose of this study is to develop nondestructive technique for electronic state analysis of the absorbers in thin-film CIS solar cells by soft X-ray emission spectroscopy. In order to detect simultaneously the L emission lines of Cu, In and Se in the soft X-ray region of 1-3.5 keV, an aperiodic Ni/C multilayer film was invented and deposited onto a laminar-type diffraction grating by an ion-beam sputtering method. The optical property was characterized by synchrotron radiation. As the result, it has been verified experimentally that the new aperiodic layer structure is effective for expanding the bandwidth of the diffraction efficiency of the multilayer grating. This means that a wideband soft X-ray emission spectrometer has been developed successfully.

研究分野： 総合理工

キーワード： 軟X線発光分光　多層膜回折格子　電子状態分析　薄膜太陽電池

1．研究開始当初の背景

銅（Cu）、インジウム（In）、セレン（Se）、の3元系CIS化合物を光吸収層に持つ薄膜太陽電池は一般に、ガラス基板上に電極層、バッファ層、透過窓層、CIS 光吸収層等、数百 nm からμm 程度の厚さの薄膜で構成される。主な電池特性はCIS光吸収層に起因し、発電効率、寿命、安定性等の性能向上にはCISの電子物性を評価することが重要となる。しかし、CIS 層は電極層等の被覆層のために光電子分光法やオージェ電子分光法等の表面敏感な計測手法では直接電子状態を評価することは困難である。

軟X線発光分光法は、バルク敏感な電子状態評価法として有効である。侵入深さが数マイクロメートル程度と大きい数keVの軟X線領域を励起光に用いた場合、被覆層を透過して CIS 層まで到達し、1～3.5 keV 領域にあるCu、In、SeのL殻電子励起だけでなく、内殻間遷移や価電子帯からの電子遷移の際に発生する軟X線発光も被覆層を透過して検出することができ、濃度や化学結合状態を元素選択的にかつ非破壊的に得ることができる。CIS化合物からのL発光は、1～3.5 keV 領域（Cu 0.9 keV、Se 1.4 keV、In 3.4 keV）にある。波長分散型X線分光器（WDS）の場合、TAP（0.8～2 keV）やPET（2～6 keV）等の分光結晶を複数用いる必要があり、当該領域を同時に分光計測するのは困難である。一方、分光素子が半導体検出器のエネルギー分散型X線分光器（EDS）は当該エネルギー領域（よりも更に広帯域）を同時に計測できるが、WDSに比してエネルギー分解能が1/10以下と低く、状態分析には適さない。

報告者らはこれまでの研究で、50～4000 eV をカバーする軟X線回折格子分光器を開発し、それを電子顕微鏡に搭載することで、ナノスケール空間の原子構造と電子構造の両方を明らかにする計測技術を確立した。この分光器は、適用エネルギー領域が異なる回折格子4枚を搭載することで 50～4000 eV 領域をカバーするが、光源と検出器の位置を共有しているので回折格子の切り替えのみでカバーするエネルギー範囲を簡便に切り替えることができるのが特徴である。また、最も高エネルギー側の 2000～4000 eV 領域用として、W と B_4C からなる非周期膜厚の軟X線多層膜を新たに考案し、それを反射物質として応用することで一定の入射角でも 2～4 keV で高効率かつ一様な回折効率を得ることができる広帯域多層膜回折格子分光器の開発に成功した。残念ながら、この W/ B_4C 多層膜回折格子は 1.8 keV 近傍に W の $M_{4,5}$ 吸収端があるために 1～3.5 keV 領域用途としては利用困難である。

本研究では、1～3.5 keV 領域に大きな吸収構造を持たないNiに着目し、非周期膜のNi/C多層膜を反射物質とする広帯域多層膜回折格子を考案し、それを用いた軟X線発光分光装置を開発した。これには回折格子の集光特性を補うために入射スリットより上流側にトロイダル前置鏡を設け、その表面にも広帯域多層膜を積層した。本報告書では、広帯域 Ni/C 多層膜を利用した前置鏡付回折格子分光器の光学設計、及び放射光を用いた回折効率の測定結果について報告する。

2．研究の目的

本研究の目的は、1～3.5 keV 領域を一定の入射角でも一様な回折効率が得られる非周期 Ni/C 多層膜回折格子分光器を開発し、薄膜CIS太陽電池の光吸収層の電子状態を非破壊的にかつ元素選択的に評価する計測技術を確立することである。

3．研究の方法

本研究目的の達成のために以下の課題を実施した。以下では各項目について述べる。

(1) 広帯域 Ni/C 多層膜を用いたトロイダル前置鏡付回折格子分光装置の設計
(2) 多層膜トロイダル鏡と多層膜回折格子の光学特性評価実験
(3) 分光装置の製作とCIS化合物の軟X線発光分光実験

4．研究成果

(1) 広帯域 Ni/C 多層膜を用いたトロイダル前置鏡付回折格子分光装置の設計

本研究では、1～3.5 keV 領域を一定の入射角でも一様な反射率が得られる非周期 Ni/C 多層膜を考案し、それを多層膜回折格子及び前置鏡として応用する。図 1 に示すように、従来の等周期 Ni/C 多層膜は基板上に Ni と C が交互に積層し、どの Ni/C 二層膜の周期長も同一である（最表面層は Ni）。一方、非周期 Ni/C 多層膜は、最表面の Ni/C 二層膜の周期長が他の二層膜に比して大きい。これをホログラフィック法によって形成された矩形状の不等間隔溝を持つラミナ型回折格子の表面に積層することで当該エネルギー領域の回折効率を広帯域化した多層膜回折格子を得ることができる。更に、トロイダル面上に積層することで分光器の広帯域前置鏡も得ることができる。

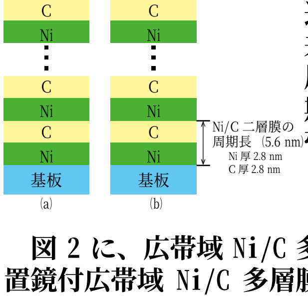

図 1　多層膜の膜構造の模式図。(a) 従来型等周期 Ni/C 多層膜、(b) 新型非周期 Ni/C 多層膜（広帯域型）。

図 2 に、広帯域 Ni/C 多層膜トロイダル前置鏡付広帯域 Ni/C 多層膜回折格子分光器の概略図を、また、表 1 には具体的な設計値を示す。トロイダル基板は、入射スリット上（メリディオナル）と検出器上（サジタル）で集光するように設計した。回折格子は、ホログ

ラフィック法でガラス基板上に形成されラミナ型不等間隔溝回折格子から複製されたレプリカ回折格子を用いた。回折格子の溝深さは非常に浅く、2.8 nm である（一般の軟X線回折格子の溝深さが 20 nm 程度）。これは高エネルギーほど溝を浅くする必要があるためである。

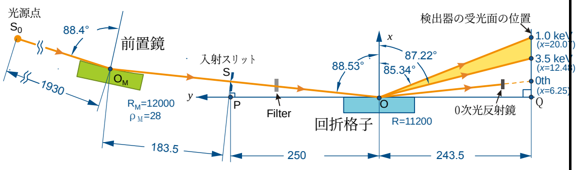

図2　広帯域Ni/C多層膜トロイダル前置鏡付広帯域Ni/C多層膜回折格子分光器の概略図。

表1　広帯域Ni/C多層膜トロイダル前置鏡付広帯域Ni/C多層膜回折格子分光器の設計値。膜厚比は周期長に対するC厚で定義。

トロイダル前置鏡	曲率半径 (W) (mm)		R_M	12000
	曲率半径 (H) (mm)		ρ_M	28
	入射角 (°)		ϕ_M	88.4
	光源ー前置鏡距離 (mm)		L	250
	前置鏡ー入射スリット間距離 (mm)		L_t'	183.5
	多層膜1（最表面の二層膜以外）	周期長1 (nm)	D_{M1}	7.5
		膜厚比1	γ_{M1}	0.5
		膜数1	N_{M1}	80
	多層膜2（最表面の二層膜）	多層膜2周期長 (nm)	D_{M2}	11.25
		膜厚比2	γ_{M2}	0.47
		膜数2	N_{M2}	2
回折格子	刻線密度 (mm)		σ	1/2400
	溝深さ (nm)		h	2.8
	デューティ比		D.R.	0.5
	曲率半径 (mm)		R	11200
	入射角 (°)		α	88.53
	入射スリットー回折格子間距離 (mm)		r	250
	回折格子ー像面間距離 (mm)		OQ	243.5
	多層膜の設計上の入射角 (°)		θ_M	87.84
	多層膜1（最表面の二層膜以外）	周期長1 (nm)	D_1	5.6
		膜厚比1	g_1	0.5
		膜数1	N_1	80
	多層膜2（最表面の二層膜）	多層膜2周期長 (nm)	D_2	8.4
		膜厚比2	g_2	0.47
		膜数2	N_2	2

図3は、表1の設計値を基に計算した（a）広帯域 Ni/C 多層膜トロイダル前置鏡の反射率と（b）広帯域Ni/C多層膜回折格子の回折効率である。比較のため、従来型の等周期多層膜及び Au 単層膜の場合も示している。Au の反射率及び回折効率は 2.2 keV 近傍の M 吸収端より高エネルギー側で著しく低下しており、実用性に欠けることが分かる。また、従来型等周期 Ni/C 多層膜の場合には、ブラッグ条件を満足するエネルギーで高効率だが、それ以外の反射率及び回折効率は著しく低くなる。一方、新型の不等周期 Ni/C 多層膜の場合、従来型に比してピーク値は低くなるものの、一定入射角でも反射鏡及び回折格子の効率を広いエネルギー帯域に渡って高効率化できることが分かった。

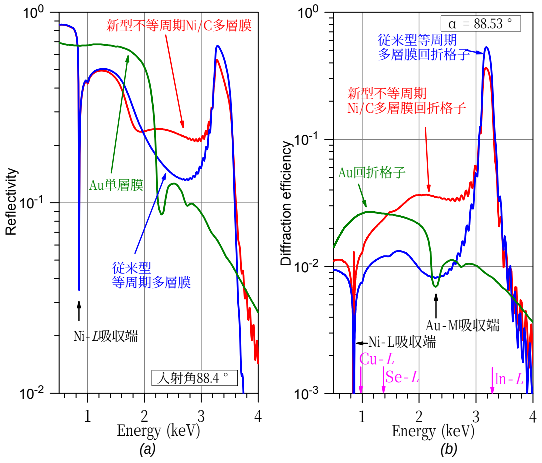

図3　新型不等周期（広帯域型）Ni/C多層膜を用いた（a）トロイダル前置鏡の反射率と（b）回折格子の回折効率の計算結果。

前置鏡付分光器の集光特性を光線追跡法で評価した結果を図4に示す。計算条件は以下の通りである。光線数10000本、光源サイズ10μm角、入射スリット20μm（W）×10 mm（H）、前置鏡の有効寸法 36 mm（W）×26 mm（H）、回折格子の有効寸法46 mm（W）×26 mm（H）、検出器（CCD）の受光サイズ 26.8 mm（W）×8 mm（H）、ピクセルサイズ40μm角。各エネルギーに対して±1%のエネルギー差を持つ軟X線を良く分解できている。全エネルギー領域で分解能（E/ΔE）が 400 以上であること、分散方向に垂直な高さ方向に良く集光できていることから、明るく高分解能な分光器として機能することが期待される。

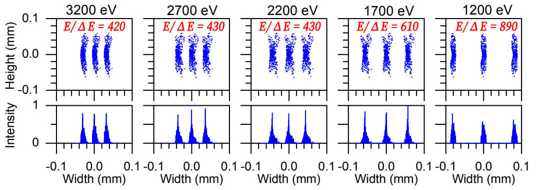

図 4　トロイダル前置鏡付不等間隔溝回折格子分光器の光線追跡の結果。各エネルギーに対してエネルギー差±1%の計3個分の軟X線のスポットダイヤグラムと線プロファイル。

広帯域型の非周期 Ni/C 多層膜はトロイダル基板及び回折格子表面にイオンビームスパッタ法で成膜された。X線回折プロファイルから評価した周期長（Ni/C二層膜の厚さ）は、トロイダル鏡が7.99 nm（設計値7.5 nm）、回折格子が 5.81 nm（同 5.6 nm）であった。この周期長の設計値からの僅かなずれは主に成膜レートの安定性に起因する。特に、Ni と C の成膜レートが著しく異なる場合にはそれが顕著となる（Ni は約 0.046 nm/s、C は約 0.0073 nm/s）。

(2) 多層膜トロイダル鏡と多層膜回折格子の光学特性評価実験

製作したトロイダル多層膜鏡と多層膜回折格子の光学特性の評価実験は、高エネルギ

ー加速器研究開発機構物質構造科学研究所の放射光科学研究施設（フォトンファクトリ（PF））の二結晶軟Ｘ線ビームライン BL-11B を用いて実施した。BL-11B は、Si(111)または InSb(111)結晶を用いた二結晶分光器を使ってそれぞれ 2.05～5.0 keV 及び 1.73～3.7 keV の軟Ｘ線を供給している。本研究では Si(111)を選択し、2.1～3.7 keV 領域の軟Ｘ線を入射光として用いた。また、高次光カットフィルタ等は用いなかった。

評価装置は、可搬型軟Ｘ線反射率計を用いた。本装置は、入射角（ω）、検出角（θ）、試料高さ（H）、可変スリット（T）の計 4 軸を搭載し、高精度な反射率計測が可能である。検出器はＸ線用フォトダイオード（AXUC100G Si/Zi、OptDiode）を用いた。検出器の受光面（10 mm 角）は測定時には可変スリットで 0.5 mm に制限した。トロイダル鏡の評価は、ある入射エネルギーに対して素子の法線方向から測った入射角ω = 88.4°（固定）における反射強度（I）を検出角θスキャンで計測し、ダイレクトビーム強度（I0）で規格化（I/I0）することで反射率を得た。一方、回折格子の場合、ω = 88.53°（固定）における 0～2 次光までの回折強度を 177.6°～175.0°の範囲でθスキャンし、それらを規格化して回折効率を得た。なお、ビーム強度の時間変化は殆ど無視できるため（トップアップ運転）、データ解析時には BL-11B のビーム強度による規格化は行わなかった。

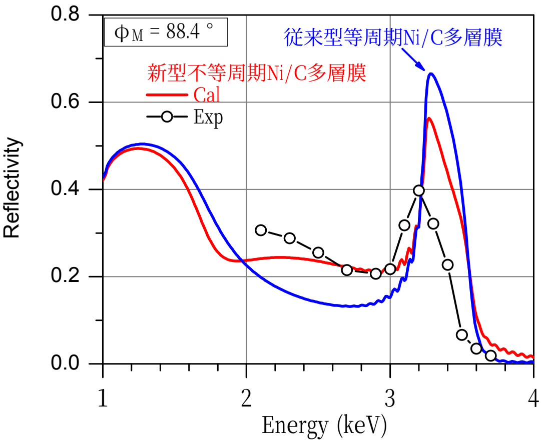

図５　新型不等周期Ni/C多層膜トロイダル前置鏡（広帯域型）の反射率の測定結果。比較のために、計算結果も示している。

図 5 は、新型不等周期 Ni/C 多層膜トロイダル鏡（広帯域型）の反射率の測定結果である。参考までに、従来型等周期 Ni/C 多層膜の計算結果も併記している。新型反射鏡は従来型に比して低エネルギー側の反射率が高くなっているのが分かる。ピーク位置のずれは多層膜周期長の設計値からのずれに起因する。残念ながら、BL-11B では 2 keV 以下のエネルギー領域の反射率を計測できないが、図 5 の結果は本研究で考案した広帯域化の設計手法が有効であることを示している。

図 6 は、新型不等周期 Ni/C 多層膜回折格子（広帯域型）と、その多層膜を積層する前の Au 回折格子の回折効率の測定結果である。新型多層膜回折格子の回折効率は、測定エネルギー領域のほぼ全域の 2.1～3.4 keV に渡って Au 回折格子に比して著しく高いことが分かる。例えば、2.1 keV で 7.4 倍、3.4 keV で 16 倍、特筆すべきは、Au の M 吸収端近傍の 2.3 keV で約 4470 倍高効率である。一般に、Au 回折格子のエネルギーの上限が 2 keV であることを考慮すると、新型多層膜回折格子は少なくとも 2.1～3.3 keV 領域で実用的な回折効率（約 1%）を示していると言える。残念ながら、多層膜周期長や回折格子の溝等の設計値からのずれによる回折効率曲線のシフトのために 3.5 keV の回折効率は Au のそれと同程度であること、2 keV 以下の領域の回折効率を未測定であること等の課題も残っているが、本測定結果は不等周期 Ni/C 多層膜回折格子が回折効率の広帯域化に有効であること示すもので、上述のトロイダル鏡の結果を併せて本研究目的の達成に不可欠な広帯域軟Ｘ線分光器用光学素子の開発に成功したと言える。

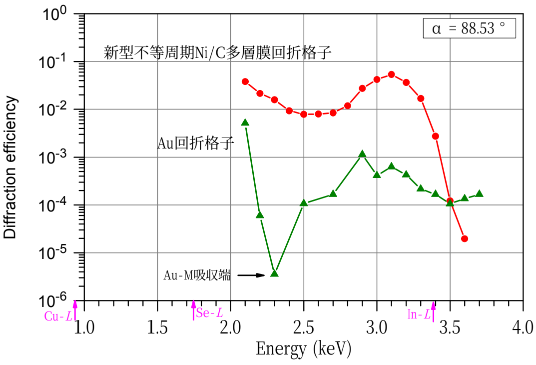

図６　新型不等周期 Ni/C 多層膜回折格子（広帯域型）と Au 回折格子の回折効率の測定結果。

(3) 分光装置の製作と CIS 化合物の軟Ｘ線発光分光実験

上述の多層膜トロイダル前置鏡と多層膜回折格子を搭載した軟Ｘ線発光分光装置を製作した。図 7 は、(a) 分光装置の概観と (b) 多層膜トロイダル前置鏡と多層膜回折格子のマウント部分の写真を示す。反射面は水平面内である。PF で測定できるように小型・軽量設計である。

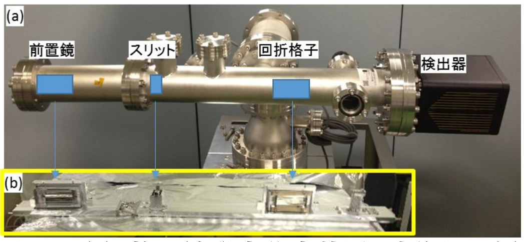

図７　(a) 軟Ｘ線発光分光装置の概観と (b) 多層膜トロイダル前置鏡と多層膜回折格子のマウント部分の写真

CIS 化合物からの軟X線発光スペクトル計測実験は、回折格子等の光学素子の評価実験と同じ BL-11B で実施した。しかし、アライメント調整不足等の理由により今回のビームタイム中にスペクトル計測までには至らなかった。

本研究では、軟X線発光分光法よる薄膜型 CIS 太陽電池の非破壊的電子状態分析技術を確立することを目的に、1～3.5 keV 領域の発光分光計測に必要な広帯域 Ni/C 多層膜回折格子及び広帯域トロイダル前置鏡を開発するとともに、それらを搭載した分光装置の開発を行った。その結果、製作した光学素子は幅広いエネルギー帯域で高効率であることが示された。この分光装置による CIS の発光スペクトル計測の実証には至らなかったものの、現在、放射光励起だけでなく電子線励起光源によるスペクトル計測の準備を進めている。今後、1～3.5 keV 領域の発光スペクトルを高分解能かつパラレル検出できることが実証されれば、例えば、オペランド電子状態分析等の新しい分光研究に本研究成果が貢献しうると考える。

５．主な発表論文等

〔雑誌論文〕（計 8 件）

① 小池雅人，今園孝志，石野雅彦，“多層膜回折格子の放射光への応用 ―keV 領域回折格子分光器ビームラインにおける新展開―，” X 線分析の進歩 46, 159-166 (2015).（査読有）

② T. Imazono, M. Koike, S. Kuramoto, T. Nagano, M. Koeda, and N. Moriya, “Design of a wideband multilayer grating spectrometer for the study of electronic structure of thin-film CIS solar cells,” JAEA-Conf 2014-001, 41-44 (2014).（査読無）

③ 今園孝志，“50～4000 eV 領域の軟X線平面結像型分光器の開発と電子顕微鏡への応用，” 応用物理，第 83 巻，第 4 号，288-292 (2014).（査読有）

④ M. Terauchi, S. Koshiya, F. Satoh, H. Takahashi, N. Handa, T. Murano, M. Koike, T. Imazono, M. Koeda, T. Nagano, H. Sasai, Y. Oue, Z. Yonezawa, and S. Kuramoto, “Chemical State Information of Bulk Specimens Obtained by SEM-Based Soft-X-Ray Emission Spectrometry,” Microscopy and Microanalysis 20 (3) (2014) 692-697.（査読有）

⑤ H. Takahashi, T. Murano, M. Takakura, N. Handa, M. Terauchi, M. Koike, T. Kawachi, T. Imazono, N. Hasegawa, M. Koeda, T. Nagano, H. Sasai, Y. Oue, Z. Yonezawa, and S. Kuramoto, “Characteristic Features and Applications of a Newly Developed Wavelength Dispersive Soft X-ray Emission Spectrometer for Electron Probe X-ray Microanalyzers and Scanning Electron Microscopes,” JEOL News 49, 73-80 (2014).（査読無）

⑥ T. Imazono, M. Koike, T. Kawachi, N. Hasegawa, M. Koeda, T. Nagano, H. Sasai, Y. Oue, Z. Yonezawa, S. Kuramoto, M. Terauchi, H. Takahashi, N. Handa, and T. Murano, “Development of an objective flat-field spectrograph for electron microscopic soft x-ray emission spectrometry in 50-4000 eV,” Proc. of SPIE 8848, 884812 (14 pages) (2013).（査読無）

⑦ H. Takahashi, N. Handa, T. Murano, M. Koike, T. Kawachi, T. Imazono, N. Hasegawa, M. Terauchi, M. Koeda, T. Nagano, H. Sasai, Y. Oue, Z. Yonezawa, S. Kuramoto, “Development and Applications of a New Soft X-ray Emission Spectrometer for Electron Probe Microanalysis and/or Nanoanalysis,” JAEA-Conf 2013-001, 13-15 (2013).（査読無）

⑧ 寺内正己，高橋秀之，飯田信雄，村野孝訓，小池雅人，河内哲哉，今園孝志，長谷川登，小枝勝，長野哲也，笹井浩行，大上裕紀，米澤善央，倉本智史，“広帯域軟 X 線発光分光システムの開発，” JAEA-Conf 2013-001, 77-80 (2013).（査読無）

〔学会発表〕（計 12 件）

① T. Imazono, “Development of soft X-ray polarizing elements and polarization measurement apparatus at JAEA, (invited)” Seminar, SLAC, Menlo Park, CA, USA, Feb. 23, 2015.

② 今園孝志，小池雅人，“1～3.5 keV 領域を一定入射角でカバーする広帯域 Ni/C 多層膜回折格子分光器の開発，” 第 28 回日本放射光学会年会・放射光科学合同シンポジウム，立命館大学，草津市，2015 年 1 月 10 日～12 日.

③ T. Imazono, M. Koike, S. Kuramoto, and T. Nagano, “Development of a soft X-ray emission spectrometer with a wideband Ni/C multilayer grating covering the range 1-3.5 keV,” 第 15 回光量子科学研究シンポジウム，日本原子力研究開発機構，木津川市，2014 年 11 月 13 日～14 日.

④ 今園孝志，小池雅人，倉本智史，長野哲也，"1～3.5 keV 領域をカバーするワイドバンド多層膜回折格子を用いた平面結像型軟X線分光器の設計，" 第 50 回 X 線分析討論会，東北大学，仙台市，2014 年 10 月 30～31 日.

⑤ 今園孝志，小池雅人，小枝勝，長野哲

也，笹井浩行，大上裕紀，米澤善央，倉本智史，寺内正己，高橋秀之，飯田信雄，村野孝訓，“電子顕微鏡用平面結像型軟X線回折格子発光分光器の開発とその性能，”2014 年度立命館大学 SR センター研究成果報告会，立命館大学，草津市，2014 年 6 月 7 日.

⑥ 今園孝志，小池雅人，“1～3.5 keV 領域ワイドバンド多層膜回折格子の開発，”2014 年度立命館大学 SR センター研究成果報告会，立命館大学，草津市，2014 年 6 月 7 日.

⑦ T. Imazono, “Development of Soft X-Ray Multilayered Gratings and Polarizing Elements (invited),” ALS Seminar, Lawrence Berkeley National Laboratory, CA, USA, March 10, 2014.

⑧ 今園孝志，小池雅人，小枝勝，長野哲也，笹井浩行，大上裕紀，米澤善央，倉本智史，寺内正己，高橋秀之，飯田信雄，村野孝訓，“1～3.5 keV 領域用ワイドバンド多層膜回折格子とそれを用いた軟X線発光分光器の設計，”第 27 回日本放射光学会年会・放射光科学合同シンポジウム，広島国際会議場，広島市，2014 年 1 月 11～13 日.

⑨ T. Imazono, M. Koike, S. Kuramoto, T. Nagano, M. Koeda, and N. Moriya, “Design of a wideband multilayer grating spectrometer for the study of electronic structure of thin-film CIS solar cells,” 第 14 回光量子科学研究シンポジウム，日本原子力研究開発機構，木津川市，2013 年 11 月 14～15 日.

⑩ 今園孝志，小池雅人，河内哲哉，長谷川登，小枝勝，長野哲也，笹井浩行，大上裕紀，米澤善央，倉本智史，寺内正己，高橋秀之，飯田信雄，村野孝訓，“50～4000eV 領域対応ワイドバンド軟X線回折格子分光器の開発と汎用電子顕微鏡への応用，”第 74 回応用物理学会秋季学術講演会，同志社大学，京田辺市，2013 年 9 月 16～20 日.

⑪ T. Imazono, M. Koike, T. Kawachi, N. Hasegawa, M. Koeda, T. Nagano, H. Sasai, Y. Oue, Z. Yonezawa, S. Kuramoto, M. Terauchi, H. Takahashi, N. Handa, and T. Murano, “Development of an objective flat-field spectrograph for electron microscopic soft x-ray emission spectrometry in 50-4000 eV,” 8139-81, SPIE Optics and Photonics 2013, San Diego Convention Center, San Diego, California, USA, August 25-29, 2013.

⑫ 今園孝志，小池雅人，“薄膜型太陽電池の化学結合状態分析のための 1～3.5 keV 領域用広エネルギー帯域多層膜回折格子分光器の設計，”2013 年度立命館大学 SR センター研究成果報告会，立命館大学，草津市，2013 年 6 月 15 日.

〔図書〕（計 0 件）

〔産業財産権〕
○出願状況（計 2 件）
名称：回折格子
発明者：今園孝志，小池雅人，長野哲也
権利者：日本原子力研究開発機構
種類：特許
番号：特許願 2013-235184 号
出願年月日：平成 25 年 11 月 13 日
国内外の別：国内

名称：Spectroscopic apparatus
発明者：T. Imazono, M. Koike, H. Takahashi, H. Sasai, M. Terauchi
権利者：日本原子力研究開発機構
種類：特許
番号：特許願 13001723-1559 号
出願年月日：平成 25 年 5 月 28 日
国内外の別：欧州

○取得状況（計 2 件）
名称：多層膜光学素子
発明者：今園孝志，小池雅人，河内哲哉
権利者：日本原子力研究開発機構
種類：特許
番号：特許第 5669295 号
出願年月日：平成 20 年 1 月 5 日
取得年月日：平成 26 年 12 月 26 日
国内外の別：国内

名称：Spectroscopic apparatus
発明者：T. Imazono, M. Koike, H. Takahashi, H. Sasai, M. Terauchi
権利者：日本原子力研究開発機構
種類：特許
番号：特許第 8983032 号
出願年月日：平成 25 年 10 月 10 日
取得年月日：平成 27 年 3 月 17 日
国内外の別：アメリカ合衆国

〔その他〕
ホームページ等
http://wwwapr.kansai.jaea.go.jp/

6．研究組織
(1)研究代表者
今園　孝志（IMAZONO Takashi）
独立行政法人日本原子力研究開発機構・原子力科学研究部門・量子ビーム応用研究センター・研究副主幹
研究者番号：50370359