半導体フォトカソードの産業技術への展開を目指した研究開発と事業化

名古屋大学シンクロトロン光研究センター / Photo electron Soul Inc. 西谷 智博

Photocathodes using III-V semiconductors with a negative electron affinity surface (semiconductor photocathodes) have played important roles as highly spin-polarized electron sources in several fields of fundamental science. Semiconductor photocathodes have become technologically advanced in the field of high-energy accelerators. Semiconductor photocathodes have versatile beam performance in that the beam current and emission area are tunable by adjusting the laser power and size, the beam structure is given a pulse profile by using pulsed laser irradiation, and a spin-polarized electron beam is generated by circularly polarized laser irradiation. Thus, semiconductor photocathodes provide a quality electron source for not only high-energy accelerators but also applications such as electron microscopy, processing, inspection and 3D printing.

Keywords: photocathode, III-V semiconductor, NEA surface

1 はじめに

半導体フォトカソードは,浜松ホトニクス株式会社 の光電面技術で代表されるように,半世紀以上に渡り, 医学,エネルギー,資源,環境から情報・通信など幅広 く実業界の発展に貢献している.また,学術の発展に おいても,その光電面を用いた光電子増倍管や半導体 検出器技術は,3度のノーベル物理学賞受賞(2002年 受賞のニュートリノ観測装置カミオカンデ,2013年受 賞のヒッグス粒子の発見に貢献した大型ハドロン衝突

Electron Beam Source using Semiconductor Photocathodes for Industrial Technologies and its Commercialization Tomohiro NISHITANI (*Nagoya University Synchrotron Radiation Research Center / Photo electron Soul Inc.*), 〒464–8603 愛知県名古屋市千種区不老町 TEL: 052–747–6565, FAX: 052–747–6563, E-mail: t.nishitani@nusr.nagoya-u.ac.jp 型加速器,2015年のニュートリノに質量があることを 突き止めたスーパーカミオカンデ)に重要な役割を果 たしている.

他方で、電子ビームデバイスとしての半導体フォト カソードは、1990年代から主に高エネルギー加速器分 野でスピン偏極した電子ビームによる素粒子実験1)や 高密度な短パルスビームの電子源として赤外自由電子 レーザー発生²⁾などに貢献してきた. 2005年以降,電 子ビーム源としての半導体フォトカソードは,加速器 分野以外への技術応用が開始され,これまでに GaAs 系半導体フォトカソードを用いたスピン偏極低エネル ギー電子顕微鏡³⁾により、タングステン上のコバルト 試料の磁区構造観測に世界で初めて成功している。

ま た,電子顕微鏡内の氷結試料の熱ドリフトや液中試料 のブラウン運動など "動く" 試料のブレのない撮像を 可能にするパルスフォトカソード電子顕微鏡の開発が 進んでいる⁴⁾. これまでに、この開発では、InGaN 半 導体フォトカソードからのパルス電子ビームにより, 意図的に動かした試料ホルダーのブレのないショット 撮像に成功している.

半導体フォトカソードは、パルス構造やスピン偏極 電子ビームの発生のみならず、放出される電子が室温 エネルギーのエネルギー分散を持つことが明らかにな り、⁵⁾ 冷陰極型のフィールドエミッタと同等かそれ以 上の高い単色性を持った高輝度電子源としても有望に なっている.このようなスピン偏極やパルスビーム構 造、高輝度性などの半導体フォトカソードからの多彩 かつ高度な電子ビームの生成は、半導体材料や機能性 表面材料、励起光源を用途に合わせて組合せることに より実現可能となる.すなわち、半導体フォトカソー ドが加速器分野だけでなく、多様な用途の電子ビーム の提供により、様々な分野で既存を超える次世代の産 業技術を創出することが期待できる.

しかしながら,半導体フォトカソードは,このような 高度かつ多彩な性能を持つ一方で,機能性表面として, 原子層レベルで形成する負電子親和力表面(Negative Electron Affinity: NEA 表面)を用いているため,その 表面の劣化にともない,量子効率が低下するという寿 命問題を抱える.それゆえ,その機能性表面の高耐久 化,すなわち長時間維持する NEA 表面の研究・開発が 半導体フォトカソードの産業技術への拡大の鍵を握っ ている.

2 半導体フォトカソードからの電子放出

半導体フォトカソードは,負の電子親和力表面(NEA 表面)を利用している.半導体フォトカソードからの 電子ビーム生成は,Fig.1に示すように,半導体へ励 起光を入射し電子を価電子帯から伝導帯へ励起する励 起過程,伝導帯へ励起された電子が表面へと拡散する 拡散過程,表面まで到達した電子が表面障壁をトンネ ルし,真空中へ脱出する脱出過程の3ステップモデル で説明できる^{6.7)}.

半導体フォトカソード上に NEA 表面状態を作るた めに次のようなプロセスが必要である.p型半導体の 表面では,フェルミ準位のピンニングによりバンドが 低エネルギー側へ曲がるバンドベンディング現象が発 生する.それにともない,半導体表面の真空準位はバ ンドベンディングの量(ϕ_b)だけ押し下げられている 状態になる.この半導体にセシウムと酸素を交互に付 加させると,表面の真空準位はさらに押し下げられる (押し下げられる量を ϕ_d とする)⁸⁾.この時,半導体の 表面電子親和力 χ_{eff} は式(1)で表され,伝導帯底より真 空準位が低いポテンシャルエネルギー状態($\chi_{eff} < 0$)



Figure 1. The potential structure around a surface of a p-type III-V semiconductor with an NEA surface.

であるとき,負の表面電子親和力状態が成立する⁹⁾.

$$\chi_{\rm eff} = \chi - \phi_{\rm d} - \phi_{\rm b} \tag{1}$$

NEA 表面の作成方法は,超高真空中で半導体表面を 清浄化した後に,半導体へ光照射しながら,半導体か ら発生する光電流が最大になるようにセシウム蒸着と 酸素を交互に付加する経験的手法 (Fig. 2)を用いてい る.NEA 表面状態の良否の判定方法は,入射光子数 に対する真空に取り出した電子数の割合(量子効率, Quantum Efficiency)を指標としている.

このような半導体上の NEA 表面を構成するセシウ ムや酸素の結合状態など基礎的理解はまだ十分に得ら れていない. その表面状態のモデルとして, Fig. 3 に



Figure 2. Time evolution of quantum yield of a GaAs semiconductor during surface treatment by alternatively depositing cesium and oxygen in ultra high vacuum.



Figure 3. The NEA-surface diagram on a GaAs semiconductor that assumes electric dipole formed by cesium and gallium atoms.

示すような原子層厚レベルのセシウムとガリウム原子 による電気双極子状態(ダイポールモデル)が提案さ れている¹⁰⁻¹²⁾.既存技術の半導体フォトカソードとし て利用される GaAs 系半導体上の NEA 表面は,微量 な H₂O, CO₂等の残留ガスで劣化するため,処理と維 持には,超高真空の真空度が必要である^{13,14)}.

3 材料特性を生かした半導体フォトカソードの NEA 状態の長寿命化

標準的な半導体フォトカソードとして用いられる GaAs 半導体では,超高真空においても H₂O や CO, CO₂ などの残留ガスの吸着により量子効率が劣化す る.さらには,残留ガス主成分が水素となる良質な超 高真空条件ですら,電子ビームによりイオン化された 水素の半導体フォトカソード表面への逆流によって量 子効率が劣化することも明らかになっている.ここで は半導体フォトカソードの NEA 表面の寿命問題の本 質的な解決策として,半導体材料の特性を生かした長 寿命化の取組を紹介する.

半導体フォトカソードの量子効率性能の低下は,表面の劣化にともなう ϕ_d の減少により引き起こされる. 半導体フォトカソード上の NEA 状態を長時間維持するためには,表面の劣化を抑制(ϕ_d の減少抑制)する方法だけでなく,小さい電子親和力(χ)を持ち,大きな表面バンドベンディング量(ϕ_b)を実現可能な半導体が NEA 状態($\chi_{eff} < 0$)の長時間維持に適している.小さい電子親和力を持つ半導体として,既存技術である GaAs 半導体($\chi = 4.07 \text{ eV}$)よりも小さい電子親和力を持つ AlGaAs($\chi = 3.76 \text{ eV}$, Al 混晶比 = 0.28)を用いた半導体フォトカソードが開発され,GaAs半導体に比べ 10 倍以上長い寿命を達成している¹⁵⁾.

一方,大きな表面バンドベンディング量を実現する には,次のように説明できる大きなバンドギャップを 持つ半導体が適している.GaAs 半導体では p ドーピ ングを施すことで半導体内部のフェルミレベルは価電 子帯上端の数十 meV 上に形成される.一方で表面に 理想的なダングリングボンドが生じると,その表面準 位は,結合軌道(伝導帯)と反結合軌道(価電子帯)の 中間辺りに存在する.半導体内部のフェルミ準位が, この表面準位にピン止めされるため,表面バンドベン ディング量(ϕ_b)は,理想的にはバンドギャップの1/2 程度になる.それゆえ,大きな表面バンドベンディン グ量を実現するには,大きなバンドギャップを持つ半 導体が適していると考えることが出来る.

筆者は、大きなバンドギャップを持つ半導体とし

て、青色半導体で代表される GaN 系半導体に着目し、 p型ドーピングの GaN, InGaN 半導体を用いたフォト カソードを開発した¹⁶⁾. Figure 4 および Fig. 5 に示す 通り、3×10⁻⁸ Pa と 5×10⁻⁹ Pa の 2 つの超高真空条件 下で、p-GaAs と p-GaN, p-InGaN 半導体フォトカソー ドサンプルのそれぞれを表面活性化の処理直後からの 量子効率の劣化が測定された。3×10⁻⁸ Pa におけるそ れぞれの寿命は、GaAs で6時間、InGaN で42時間、 GaN で 101 時間であり, バンドギャップが大きくな るにつれ寿命が長くなっている.5×10-9 Paの真空環 境での寿命評価にいたっては、GaAs が 30 時間の寿 命であるが、InGaN、GaN ともに 300 時間以上に渡り 量子効率が劣化していない. これらの実験結果から, GaAs, InGaN, GaN サンプルのバンドギャップの大き さの順で寿命は長く, AlGaAs を用いた半導体フォト カソードに比べても、同等以上の寿命性能を達成して いる。

4 電子銃装置

これまでの半導体フォトカソードは、スタンフォー ド線形加速器、ジェファーソン研究所の CEBAF や FEL などの大型の高エネルギー加速器で利用されてき た背景から、半導体フォトカソードを搭載した電子銃 は、全長数メートルで総重量数百キログラムと大型装 置となり、コンパクト化や低コスト化のインセンティ ブが小さかった.しかしながら、半導体フォトカソー ド電子ビーム源の電子顕微鏡技術における有用性が実 証され、より幅広い産業技術への展開が期待されるに つれ、その電子銃装置のコンパクト化と低コスト化が 課題になっている.

電子銃装置のコンパクト化と低コスト化の鍵は,半 導体フォトカソードの高耐久化と半導体フォトカソー ド上の機能性表面の活性化から電子ビーム生成までの プロセスの簡略化にある.

4.1 半導体フォトカソードの高耐久化による低コス ト化

半導体フォトカソードの高耐久化は前節でも述べたとおり、従来技術で用いられる GaAs 半導体に対して GaN 系半導体は同じ真空度中で保持した際に寿命性能が一桁以上高い.このことは電子銃装置における排気ポンプの低コスト化に直結する.GaAs 半導体が 3×10⁻⁹ Pa の真空下での保持で 30 時間の寿命であるのに対して、InGaN 半導体フォトカソードでは5×10⁻⁸ Pa で寿命が42 時間である.すなわち、GaN 系

第 103 号 (2017)



Figure 4. Decrease in quantum yield of photocathodes using GaAs, InGaN and GaN in base pressure of 3×10^{-8} Pa. Lifetimes of GaAs, InGaN and GaN are 6.0 hours, 42 hours and 101 hours respectively.^{16,17)}

半導体フォトカソードを搭載した電子銃装置は, GaAs 半導体フォトカソードよりも一桁低い排気性能で同 等の機能性表面の保持能力を有すると言える.ジェ ファーソン研究所の FEL で用いられる GaAs 半導体 フォトカソードの電子銃装置では, 10⁻¹⁰ Pa オーダー の極高真空を実現しており, 平均電流がミリアンペア オーダーの電子ビーム放出で 50 時間以上の寿命を達 成している.しかしながら,その極高真空を実現する ために,排気性能がおよそ 8000 L/s の真空ポンプシス テムを採用しており,真空ポンプだけでも数千万円の 金銭的コストがかかっていると推察される.

4.2 半導体フォトカソード上の機能性表面活性化プ ロセスの簡略化

半導体フォトカソード電子銃では,半導体上に NEA 表面の活性化と表面機能の保持のために超高真空環境 が必要条件となる.また,電子銃内で NEA 表面活性 化のセシウム蒸着を行うと,電極材そのものの仕事関 数を低下させてしまうため,加速電圧印加の際に電界 放出暗電流が発生する.それゆえ,従来の半導体フォ トカソード電子銃は,機能性表面活性化装置と電子銃 装置がゲートバルブを介して分けられており,さらに これら装置間を半導体フォトカソードが搬送される複 数の装置からなるシステム形態をとっている.

このような従来型の半導体フォトカソード電子銃シ



Figure 5. Decrease in quantum yield of photocathodes using GaAs, InGaN and GaN in base pressure of 5×10^{-9} Pa. Lifetime of GaAs is 30 hours. Quantum efficiency of InGaN and GaN are maintained the initial value over 300 hours.^{16,17)}

ステムでは、NEA 表面活性化時のセシウムが電極に付 着することがない他、半導体基板の交換をシステム全 体の超高真空を保持したまま行えるメリットを持つ. しかしながら、NEA 表面活性化と電子銃が分けられた システムでは、それぞれの装置に排気ポンプが必要と なるだけでなく、装置間を半導体フォトカソードが搬 送されるシステムを含めると、システム全体のサイズ は数メートルで重量も数百キログラムにもなる.これ を汎用の電子顕微鏡などで利用される熱陰極や電界放 出型陰極を搭載した電子銃装置と比べると、コスト・ サイズ・重量ともに数倍以上となり、半導体フォトカ ソードの加速器以外への応用の拡大に対するボトル ネックとなっている.

筆者は、半導体フォトカソード電子銃のコンパクト 化と低コスト化に向けた解決策として、電子銃が NEA 表面活性化の機能を有し、かつセシウムの蒸着が抑制 される電極構造を考案した.このような構造を取り入 れ名古屋大学で開発したコンパクト半導体フォトカ ソード電子銃を Fig. 6 に示す.本電子銃は、暗電流が 1 nA 以下の状態で 50 時間以上安定に 50 keV の電子 ビーム生成を実現した.

このようなコンパクト化の取り組みによって,既存の100kVクラスの電子顕微鏡への半導体フォトカソード電子銃の搭載が可能となった.名古屋大学理学



Figure 6. The compact photocathode electron gun developed in Nagoya University.



Figure 7. Transmission electron microscope (JEM1200EX) with the compact photocathode electron gun.

製造・供給を事業とし、数年という短期間で急成長す

研究科生命理学センター所有の電子顕微鏡(日本電子 株式会社製 1200EX)の既存の熱陰極電子銃と置換し て半導体フォトカソード電子銃を搭載した例を Fig. 7 に示す.

また, Photo electron Soul Inc. から電子顕微鏡のよう な観測技術だけに留まらず,電子線描画装置や3Dプ リンタなどの加工技術向けをも応用対象とした小型半 導体フォトカソード電子銃がリリースされるにいたっ ている.

5 電子ビーム源の事業化

産業用電子ビーム技術の熱陰極に続き,電界放出型 エミッタが登場しておよそ40年が経つ.今日におけ る時間分解電子顕微鏡や金属3Dプリンタなどの目覚 しい発展は、多彩な性能を持つ新たな電子ビーム技術 の実現とその急速な発展を促している.それゆえ筆者 は、研究開発の最大化の方法として、電子ビーム源の 事業化に着手した.

ここでは筆者が半導体フォトカソードを用いた電子 ビーム源の事業化を目指し,起業するまでに得た機会 や経験を述べる.

5.1 研究開発型スタートアップの起業

筆者は、鈴木孝征氏(博士(農学)、Photo electron Soul Inc. CEO)と共に電子ビーム源の事業化として名 古屋大学発ベンチャー企業である Photo electron Soul Inc. 設立(2015年7月設立)に携わってきた。本企業 は、"光電子ビームで未知の世界をみる・つくる"をス ローガンとして、電子源素子・電子銃の研究・開発と

る研究・開発型のスタートアップを目指している。筆 者は,この起業にいたるまでの3年間で,当時名古 屋大学産学連携部に所属していた鈴木孝征氏と企業へ のライセンスを通して、電子ビーム源の産業技術への 展開を進めていた。この過程で我々は、産業界へ電子 ビーム技術を売り込むにあたって、技術の優位性や革 新性だけでは受けいれられないことに気づいた。その 原因を深掘りするために参加した NEDO Technology Commercialization Program (TCP) では,技術の事業化 の知識や機会が得られただけでなく、起業のきっかけ となった. TCP は、技術を基に起業して事業を大き く拡大させたいと考えている起業家,起業家予備群, 起業意識のある研究者等を支援プログラムである。本 プログラムは、単に起業家育成のためではなく、事業 化までの一連の知識が得られ、投資を呼び込むための プレゼン技術などの研修も含まれる。そのため、投資 家など専門外の方が学術の研究・開発の成果に興味を 持ってもらえる技術も修得できる機会にもなると思わ れる.

我々はこのプログラムを通して,技術の革新性が高 いほど,企業がライセンスと同時に,市場規模や成長 性,競合他社などの調査,事業モデル策定,試作・製品 化や知財戦略などの多くの負担を引き受けなければな らないと理解するようになった.特に電子源のような 放射線技術は,様々な産業の基盤となっていることか ら,企業は長期的視点で考えなければならず,新しい 技術の導入が容易ではないだけでなく,研究・開発の 成果が最大限引き出されるとは限らない.そこで筆者 は、研究・開発の成果の事業化として、鈴木氏と共に 起業を選択した。その理由は、ベンチャー企業が既存 の企業の新しい技術を導入する際の負担を担うだけで なく、自ら起業することによってこれまでの研究・開 発の成果を最大限に引き出せると考えたからである。

5.2 研究開発型大学発ベンチャーによる事業モデル

筆者は, Fig. 8 に示すような、アカデミアと研究開 発型ベンチャー企業、製品の製造を担うファウンドリ の3者で形成される体制の実現を目指している.この 体制は、特に放射線を用いた技術のような時間やコス トがかかる事業に対して適している. アカデミアは成 果やノウハウをベンチャー企業 (VB) ヘライセンス し、VBはマーケティングの結果と照らし合わせなが らコア技術がよりインパクトの強い応用先を峻別し, 市場へ素早く投入するためにファウンドリと共にコア 技術に特化した試作・製品化を行う、アカデミアはロ イヤリティとして研究開発の活動へ還元されるだけで なく、VB を介して市場からコア技術の評価が得られ、 次なる解決すべき課題や新たな課題を効率的に見いだ すことも可能となる. 一方で、VB やファウンドリに とっても製品の不具合など修正が発生した場合,アカ デミアは様々な分野の研究者や高度な分析技術・機器 を持つため、担当の研究者を介した多角的な解決策を 素早く打ち出すことが可能である。この体制が機能す るためには、アカデミア・VB・ファウンドリの3者が 接触頻繁であることが不可欠である。例えば大学の研



Figure 8. Organizational interactions involving universities, venture companies and foundries that result in successful commercialization of research and technology for survival in competitive markets.

究室ミーティングなどにも VB やファウンドリが参加 し、コア技術の理解や市場の動向の共有、製品化の実 現性などの議論を日頃の活動として行うことが良いと 思われる。

筆者は,投資家などへのプレゼンは,技術の詳細に 立ち入り過ぎず,研究・開発の成果を最大限引き出し た時どれほど大きな課題が解決されるのか,またその 成果がもたらす未来への想像が必要であると考える. 一方で,科学に基づく学術研究や基盤研究とその成果 の事業化には切り分けとバランスが必要である.

6 終わりに

半導体フォトカソードの研究・開発は,半導体の設 計や評価,材料や表面処理,またその周辺を支える レーザーや電子銃,超高真空の技術要素など,分野を 超えた融合領域であり,その技術の向上や現象の解 明には,異分野間の連携が必要不可欠である.半導体 フォトカソードを用いた電子ビーム源の産業技術への 展開は,放射線技術の事業化の一つの良いモデルにな ることを期待している.

〈謝 辞〉

半導体フォトカソード電子ビーム源技術は、故中西 彊教授を中心としたグループが,四半世紀以上,研究・ 開発に取り組み、その道を切り開いた分野である、本 書で紹介した AlGaAs 半導体フォトカソードは,あい ちシンクロトロン光研究センターの竹田美和所長と名 古屋大学シンクロトロン光研究センターの田渕雅夫教 授との共同開発の成果である. GaN 系半導体フォト カソードは、名古屋大学未来材料・システム研究所の 天野浩教授と本田善央准教授との共同研究開発による 成果である.半導体フォトカソード電子源装置2号機 は、独立行政法人理化学研究所の仁科加速器センター の延與秀人センター長の協力の元で開発したプロトタ イプ電子銃のロードロック式半導体フォトカソード電 子銃の設計が活かされている. また, コンパクト半導 体フォトカソード電子銃装置は文部科学省"地域イノ ベーション戦略支援プログラム"の助成を、コンパク トフォトカソード電子銃を搭載した電子顕微鏡は科学 技術振興機構(JST)の"先端計測分析技術・機器開発 プログラム"の助成を受け開発したものである。

〈参考文献〉

1) SLD Collaboration, Phys. Rev. Lett., 70 (1993) 2515.

- G. R. Neil, C. L. Bohn, S. V. Benson, G. Biallas, D. Douglas, H. F. Dylla, R. Evans, J. Fugitt, A. Grippo, J. Gubeli, R. Hill, K. Jordan, R. Li, L. Merminga, P. Piot, J. Preble, M. Shinn, T. Siggins, R. Walker, B. Yunn, Phys. Rev. Lett., 84 (2000) 662.
- 3) JST 先端計測分析技術・機器開発プログラム,平成 17 年要素技術開発採択課題:スピン偏極電子源,チームリーダー中西 彊,平成 22 年要素技術開発採択課題:実用三次元スピン回転偏極電子ビーム装置の開発,チームリーダー越川 孝範, http://www.jst.go.jp/sentan/saitaku/
- 4) JST 先端計測分析技術・機器開発プログラム,平成26年要素技術開発採択課題:高速1ショット観測を実現するフォトカソード電子源の開発,チームリーダー西谷智博,

http://www.jst.go.jp/sentan/saitaku/H26y.html

- D. A. Orlov, U. Weigel, D. Schwalm, A. S. Terekhov, A. Wolf, Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. Sect. A-Accel. Spectrom. Dect. Assoc. Equip., 532 (2004) 418.
- W. E. Spicer, A. Herrera-Gomez, Modern theory and applications of photocathodes, SLAC-PUB-6306 (1993).
- 7) W. E. Spicer, Phys. Rev., 112 (1958) 114.
- 8) W. E. Spicer, Appl. Phys., 12 (1977) 115.
- N. Takahashi, S. Tanaka, M. Ichikawa, Y. Q. Cai, M. Kamada, J. Phys. Soc. Jpn., 66 (1997) 2798.
- C. Y. Su, W. E. Spicer, I. Lindau, J. Appl. Phys., 54 (1983) 1413.
- A. H. Sommer, H. H. Whitaker, B. F. Williams, Appl. Phys. Lett., 17 (1970) 273.
- 12) A. Era, M. Tabuchi, T. Nishitani, Y. Takeda, J. Phys.

Conf. Ser. 298 (2011) 012012.

- H. Iijima, M. Kuriki, Y. Masumoto, Proceedings of International Particle Accelerator Conference (2011) 3158.
- 14) N. Chanlek, J. D. Herbert, R. M. Jones, L. B. Jones, K. J. Middleman, B. L. Militsyn, J. Phys. D: Appl. Phys., 47 (2014) 055110.
- 15) T. Nishitani, R. Hajima, H. Iijima, R. Nagai, M. Sawamura, N. Kikuzawa, N. Nishimori, E. Minehara, M. Tabuchi, Y. Noritake, H. Hayashitani, Y. Takeda, Proceedings of International Free Electron Laser Conference (2006) 319.
- 16) T. Nishitani, M. Tabuchi, H. Amano, T. Maekawa, M. Kuwahara, T. Meguro, J. Vac. Sci. Technol. B, 32 (2014) 06F901.
- 17) EB 技術を利用した材料創製と応用展開, 鷲尾方 一,前川康成 (Eds.),シーエムシー (2016).

〈著者略歴〉

西谷 智博: 2015 年 名古屋大学 新分野創成研究ユニッ ト ユニットリーダー, 兼, Photo electron Soul Inc. 取締 役技術担当(ともに現職), 2011 年 名古屋大学シンク ロトロン光研究センター 特任講師, 2009 年 独立行政 法人理化学研究所 延與放射線研究室 基礎科学特別研 究員, 兼,協力研究員, 2007 年 独立行政法人理化学研 究所 ビームアプリケーションチーム 基礎科学特別研 究員, 2006 年 独立行政法人日本原子力研究開発機構 量子ビーム応用研究部門 博士特別研究員, 2004 年 日 本原子力研究所 関西研究所 光量子科学研究センター 博士特別研究員.