

X線極限解析装置の研究開発

I 試験研究の全体計画

1. 研究の趣旨

X線解析は、有機・無機物質の構造解析や反応過程の研究などの広範な研究分野全般において、基本的な研究手段として発展を続けている。近年大型のシンクロトン放射光源が順次稼働し測定に応用されるにつれて、X線解析の応用範囲が爆発的に広がり、測定は精密化の一途を辿っている。しかし単純な強度増強だけでは解決できない問題も多く存在する。極端な場合には、強いX線場によって研究対象である物質自体が大きな変化を受けてしまうこともある。したがって、測定に必要な入射X線を選択する高機能型X線ビーム光学系、目的のシグナルを効率良く捕えるような優れたエネルギー分解能を持つX線検出系が強く望まれる。同時にシンクロトン放射光源での実験時間は限られているため、その能力を最大限引き出すためには、実験装置側のビーム光学系、検出系の革新及び総合的な最適化が急務である。

本研究はこの様な研究上の要請をみたすために、①高機能型X線ビーム光学系、②エネルギー分解能に優れたX線検出系を実用化するための要素技術の研究を実行する。またこれらの素子を最大限に活用するために、③X線解析の対象及び実験手法の調査研究を行い、第Ⅱ期において実用化する各素子の諸元を割り出す。

第Ⅱ期においては第Ⅰ期の成果を利用して実際の実験に即した諸元の達成を行い、X線極限解析装置の試作を行う。

2. 研究概要

本開発研究ではX線極限解析装置の開発とその手法の確立のために、まず高機能X線光学素子と高感度X線検出素子の開発から着手し、まずその性能を追及することに全力をそそぐ。

高機能X線光学素子は、回折格子が作り込まれた非球面ミラーで、X線の集光能力を最大限に高めるものである。

高感度X線検出器は、超伝導体を利用して達成される優れたエネルギー分解能によって、目的のX線信号を極めて高感度で捕えるものである。

その後、達成された素子性能を詳細に検討した上で、実用レベルに達したと判断された順に、最適な具体的な装置を設計し、実現する。予め想定している応用は、研究対象にわずかに含まれる特定の原子周辺の電気的な構造を吸収端微細構造を用いて解明する場合で、酵素などに含まれる金属イオン周辺で起こる化学反応が代表的な例となる。

具体的には以下の研究を行う。

(1) X線ホログラム光学素子に関する研究

高機能X線光学素子（X線ホログラム光学素子）は、高次元の複雑形状と高い表面品位を持つ非球面ミラーと、その複雑な曲率を持った表面上に形成された回折格子を併せ持つ新しい光学素子である。その実現には、高強度、高耐久性、低熱変形特性を持つ新素材として、主にSiCセラミックスとCVDによる超緻密な表面コーティングを伴った機能性材料の利用が必要となる。こうした新素材の機能・特性を活かす極限超精密加工プロセスの開発により、極限効率による集光能力と分光能力を持った次世代の光学素子を開発する。多くの実用性を考慮し、最大1m長の非球面ミラーを目標に、その超精密研削加工と超平滑研磨加工、そして微細な回折格子を切削により創成する加工プロセスを実現する。これらの極限加工プロセスを一貫して展開できる6自由度を持った超精密非球面加工機の開発を行い、これをメインフレームとして各加工ステーションを統合したシステム開発を行う。これにより、具体的にX線極限分析用の高機能X線光学素子の開発を行い、その性能評価を行う。

① ホログラム光学素子加工技術に関する研究（理化学研究所）

極限X線解析装置に必要な高性能ホログラム光学素子の開発に必要な超平滑化術、非球面加工術、微細表面加工技術の語術要素開発を引き続き行うと共に、これらの技術をXメインフレーム上に集積し統合化を行う。

② 非球面の超平滑加工技術に関する研究（埼玉大学工学部）

非球面の鏡面研削加工が施されたX線ミラーに対し、原子オーダーの表面平滑性を得るための加工技術・条件を確立する。超精密研削プロセスにより非球面創成されたミラーの形状に倣って、特殊な形状を有する工具を用いて様々な条件により研磨加工を行い、前加工で創成した非球面形状を保持したまま2オンゲストローム以下の平滑性を達成する技術条件を明らかにする。本加工プロセスを実現するための研磨システムの検討と、理化学研究所で設計するメインフレームとドッキングするための技術の検討を行い、装置開発に展開させる。

③ 微細表面形状の加工・計測技術に関する研究（通産産業省工業技術院機械技術研究所）

微細表面形状の加工のための新型工具の仕様検討及び、微細形状計測手法について基礎的な検討を行う。

④ 統合加工システムの開発に関する研究（東芝機械㈱）

X線ホログラム光学素子を加工するために必要となる加工システムの要素技術の検討及び各要素技術を統合化する

際の問題点を探索する。

(2) 超伝導接合素子に関する研究

高感度X線検出器は超伝導体の物性を電氣的に検出する超伝導接合素子とし、単一エネルギー量子の検出と超高精度のエネルギー計測を同時に実現する。超伝導接合素子を設計、作製、評価するシステムを構築し、実用レベルの検出素子の作製プロセスの開発を行う。

① 素子の製作及び評価に関する研究（理化学研究所）

10年度に引き続き、接合素子の成膜条件を変えて試作及び性能評価を行い、素子製作条件の最適化と再現性のよい素子製作技術の研究を行うと共に、検出器からの信号の増幅器として、超伝導接合回路を用いた検出システムの構築のための要素技術の研究を行う。また平行して、接合素子作製設備の整備も続行し導入装置の運転を順次開始する。

② 素子の高性能化及び配列に関する研究（通商産業省工業技術院電子技術総合研究所）

超伝導トンネル接合素子の特性の品質を評価するため、素子を4.2K以下の極低温に冷却してサブギャップ準粒子

トンネル電流を精密計測する技術を確立する。この計測技術に基づき、素子の作製条件と接合特性の相関を研究する。

③ 素子構造材料最適化に関する研究（埼玉大学工学部）

超伝導接合素子の単接合の構造最適化のために、接合素子の試作のための設備を整備し、接合素子作製のための光学マスクパターンを設計して素子を試作する。前年度に設計した光学マスクパターンを用いて接合素子を作製し、特性を評価し、形状の違いなどを明らかにする。また、電極材料の違いを調べる。

④ 信号処理専用回路系に関する研究（理学電機㈱）

信号処理専用回路と超伝導接合素子の一体化と性能向上に必要な条件を踏まえ、専用信号処理回路の設計試作を行う。

(3) X線極限解析装置の応用に関する総合的研究（理化学研究所）

平成10年度に引き続き、X線極限解析装置の応用分野の調査研究を行うとともに、X線極限解析装置の概念設計を行う。

3. 年次計画

研究項目	9年度	10年度	11年度	12年度	13年度
(1) X線ホログラム光学素子に関する研究					
① ホログラム光学素子加工技術に関する研究		加工技術の開発・構築			
② 非球面の超平滑加工技術に関する研究			メインフレームへの搭載及び試験		素子製作・評価
③ 微細表面形状の加工・計測技術に関する研究		非球面平滑化技術の検討			
			メインフレームへの搭載及び試験		最終評価及び取りまとめ
		微細表面形状の加工及び測定技術の開発			
			メインフレームへの搭載及び試験		最終評価及び取りまとめ
④ 統合加工システムの開発に関する研究	ベースマシンの製作	加工装置(メインフレーム)の製作		メインフレーム付加工装置の製作	最終評価及び取りまとめ
(2) 超伝導接合素子に関する研究					
① 素子の製作及び評価に関する研究	専用プロセスライン建設				
	評価装置建設				
		素子製作技術の研究		検出システムの製作	取りまとめ
② 素子の高性能化及び配列に関する研究	接合高性能化				
	接合配列化			接合配列の高性能化	取りまとめ
③ 素子構造材料最適化に関する研究	素子構造最適化				
	素子材質最適化			素子の高度化	取りまとめ
④ 信号処理専用回路系に関する研究	データ処理系基礎研究及び回路設計試作				
	データ処理用回路製作及び調整			専用回路の製作及び調整	取りまとめ
(3) X線極限解析装置の応用に関する総合的研究		X線極限解析装置	概念設計及び調査研究	X線極限解析装置設計・試作	取りまとめ
所要経費(合計)	331百万円	330百万円	336百万円		

II 平成11年度における実施体制

研究項目	担当機関	研究担当者
(1) X線ホログラム光学素子に関する研究		
① ホログラム光学素子加工技術に関する研究	理化学研究所	大森 整
② 非球面の超平滑加工技術に関する研究	埼玉大学工学部	河西 敏雄
③ 微細表面形状の加工・計測技術に関する研究	通商産業省工業技術院機械技術研究所	服部 光郎
④ 統合加工システムの開発に関する研究	東芝機械㈱	田中 克敏
(2) 超伝導接合素子に関する研究		
① 素子の製作及び評価に関する研究	理化学研究所	清水 裕彦
② 素子の高性能化及び配列に関する研究	通商産業省工業技術院電子技術総合研究所	赤穂 博司
③ 素子構造材料最適化に関する研究	埼玉大学工学部	高田 進
④ 信号処理専用回路系に関する研究	理学電機㈱	木野 幸治
(3) X線極限解析装置の応用に関する総合的研究	理化学研究所	浅間 一
(4) 研究運営	理化学研究所	中川 威雄

III 運営委員会

委員	所 属
○中川 威雄	理化学研究所 研究基盤技術部部長
赤穂 博司	通商産業省 工業技術院電子技術総合研究所電子デバイス部主任研究官
浅間 一	理化学研究所 研究基盤技術部技術開発促進室
稲葉 克彦	理学電機㈱ X線研究所
大森 整	理化学研究所 素形材工学研究室副主任研究員
河西 敏雄	埼玉大学 工学部機械工学科教授
木野 幸治	理学電機㈱ X線研究所副所長
清水 裕彦	理化学研究所 宇宙放射線研究室研究員
高田 進	埼玉大学 工学部電気電子システム工学科教授
田中 克敏	東芝機械㈱ 工作機械事業本部主席技監
服部 光郎	通商産業省 工業技術院機械技術研究所生産システム部複合加工研究室長

(注：○は運営委員長)