

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	超極細電子線によるコヒーレント照射顕微法の実証研究
Title(English)	Coherent Microscopy based on Ultra-fine Electron Beam
著者(和文)	澁谷達則
Author(English)	Tatsunori Shibuya
出典(和文)	学位:博士(工学), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第10494号, 授与年月日:2017年3月26日, 学位の種別:課程博士, 審査員:林崎 規託,小栗 慶之,矢野 豊彦,赤塚 洋,吉田 克己
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第10494号, Conferred date:2017/3/26, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	審査の要旨
Type(English)	Exam Summary

(博士課程)

論文審査の要旨及び審査員

報告番号	甲第	号	学位申請者氏名	澁谷 達則	
論文審査 審査員		氏名	職名	氏名	職名
	主査	林崎 規託	准教授	吉田 克己	准教授
	審査員	小栗 慶之	教授		
		矢野 豊彦	教授		
赤塚 洋		准教授			

論文審査の要旨 (2000 字程度)

本論文は、「超極細電子線によるコヒーレント照射顕微法の実証研究」と題し、全7章から構成されている。

第1章「序論」では、電子顕微鏡の加速電圧と分解能に関する歴史的動向を概説後、本論文が着目する電子線の低速化と観測対象物の関係性と、電子顕微法における像モードと回折モードの違いについて述べている。また、電子線の低速化とともに、球面収差や色収差の影響に加えて、広角散乱の問題もクローズアップされてくる反面、光電子放出による短パルス電子線を用いることで、従来の電子顕微鏡では困難であった軽元素試料や低次元物質の動的挙動観測(ダイナミクス観測)の可能性あることを指摘している。そして、本論文の目的が、低速電子線によるレンズ系を介さないコヒーレント照射顕微法(コヒーレント電子線回折顕微法)を新しく提案し、平面状の光陰極から放出される極細小径の電子線を用いて、その原理実証を試みるものであることを述べている。

第2章「原理」では、電子の粒子性の観点から、光陰極における光電子放出の原理に加えて、電子源として用いる場合に考慮が必要な量子効率や熱エミッタンスの定義について説明している。また、同じく波動性の観点から、コヒーレンス長の定義と電子線回折の原理について説明している。

第3章「数値計算」では、光電子放出に必要なレーザー照射が光陰極の温度上昇を誘起し、得られる電子線に悪影響を及ぼす可能性があるため、二温度モデルを用いてレーザーの集光強度と電子線の横コヒーレンス長の関係を求めている。そしてさらに実験時に印加される静電場のシミュレーション結果を追加して、ビームトラッキング計算をおこなうことで、試料上でのビームコヒーレンス長と検出器面上でのビームサイズを評価している。

第4章「設計と製作」では、前章で得られた数値計算結果をもとに設計・製作したコヒーレント電子線回折顕微システムと、新しく開発した光陰極や2種類のレーザーを中心とした構成部品について述べている。

第5章「実験」では、本論文が提案するコヒーレント電子線回折顕微法の原理実証に必要な、①回折信号に必要なSN比を満たした実験を行うために十分なビーム電流量が確保され、②試料上でのコヒーレンス長が観測対象領域をカバーするとともに電子線の波長が観測対象領域よりも短く、③ビームの横方向運動量が十分小さく、試料からの複数の回折波同士が重畳されないという3条件が満たされていることを確認するためにおこなわれた、紫外線レーザーを用いた線形電子放出の量子効率測定、緑色レーザーを用いた非線形電子放出の電子収率測定、横方向運動量の評価に関する事前実験について述べている。そして、これらの結果を総合的に考慮しておこなわれた、紫外線レーザーによる多層グラフェン結晶に対するコヒーレント電子線回折顕微法実験について述べている。この実験結果と実験体系から直接求められるブラッグ条件を組み合わせ逆空間での回折信号を分析したところ、グラフェンを構成する格子定数に相当するピーク信号が得られたことから、本論文で提案した顕微法は観測対象物質を原子レベルで計測できる分解能を有することを明らかにしている。

第6章「コヒーレント照射顕微鏡用超極細光源の検討」では、コヒーレント照射顕微法の場合、電子放出点での光源サイズと運動量分散によって決定される固有エミッタンスが試料上のビームコヒーレンスを低下させることから、その解決法に関する実験をおこなったことを述べている。具体的には、①3次元ナノスケール光陰極の試作と、②波長可変レーザー光(スーパーコンティニューム光)照射によって運動分散を低減する実験である。そして、前者については加速エネルギー30 keV、ビーム電流量22 pAのガリウムイオンビームを用いた場合に最適な加工条件が得られることを突き止め、実際に直径100~200 nmのナノスケールエミッタの製作に成功し、一方後者についてはグラフェンの回折パターンを観測するには至らなかったことを述べている。

第7章「結論」では、各章において得られた結果を総括するとともに、コヒーレント電子線回折顕微法の実用化・高性能化に向けて取り組むべき課題について述べ、本論文の結論としている。

これを要するに、本論文は、従来の電子顕微鏡では困難であった軽元素試料や低次元物質のダイナミクス観測のために、低速電子線によるレンズ系を介さないコヒーレント照射顕微法を提案し、実際に原子レベルの分解能で計測可能であることを、多層グラフェン結晶に対する実験を通じて実証したことで、量子ビーム工学の分野に新たな知見を与えたものであり、工学上及び工業上貢献するところが大きい。よって、本論文は博士(工学)の学位論文として十分価値あるものと認められる。

注意:「論文審査の要旨及び審査員」は、東工大リサーチリポジトリ(T2R2)にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。