

外村位相情報プロジェクトの研究成果

目次

1. 液晶パネルによる実時間ホログラフィ表示技術 (実時間電子線ホログラフィック干渉顕微鏡法)	2
2. 液晶パネルによる実時間ホログラフィ表示技術 (球面収差の実時間補正法)	4
3. 磁性体のホログラフィ観察方法	6
4. ホログラフィの高分解能化	8
5. 高分解能ホログラフィの理論的検討	9
6. 電子顕微鏡内縞走査法	11
7. 三次元再構成法	13
8. 電子線回折干渉法	15
9. 生体物理のホログラフィ観察技術	17
10. 電子線のゆらぎに関する研究	18
11. 新干渉計測法	20

1. 液晶パネルによる実時間ホログラフィ表示技術（実時間電子線ホログラフィック干渉顕微鏡法）

液晶パネルを電子線ホログラムの書き替え可能な記録媒体として用い、実時間電子線ホログラフィの開発に成功。電磁場の動的な挙動の観察で本方法の有効性を実証。

研究成果の概要

- 1) TV カメラで検出した電子線ホログラム信号を液晶パネルに出力しておき、レーザー光を照射して再生し、その場で干渉顕微鏡像を形成するシステムを開発した。
- 2) 干渉計を用いて、液晶パネルの位相変調特性を調べ、位相型ホログラムとしての作動条件を解明した。
- 3) 位相型ホログラムからの高次回折光を利用し、実時間で高倍位相増幅干渉顕微鏡像を形成できることを示した。
- 4) 印加磁場や加熱による磁性体試料の磁場の動的な挙動を観察した。

（図 1、図 2、図 3）

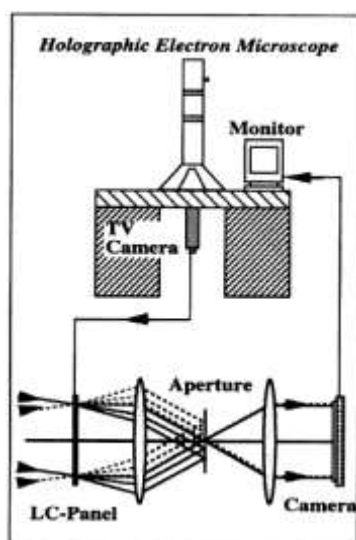


図 1 実時間電子線ホログラフィシステム

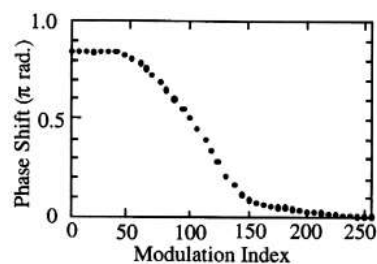


図 2 液晶素子の位相変調特性

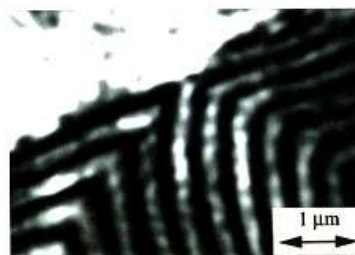


図 3 ビデオレートで得られた干渉顕微鏡像

成果展開可能なシーズ、用途等

- 1) 電子線ホログラムの実時間再生
- 2) 電磁場の動的な挙動の観察

特許出願

- 1) 電子線ホログラフィ実時間位相計測方法及び装置

特 願：平 4-133870(平 4.5.26)

出 願 人：新技術事業団、外村 彰

請求の概要：電子線ホログラムを撮像と同時に実時間で光学的干渉顕微鏡像として再生し、
観察対象物の位相分布あるいは強度分布を実時間で観察する方法及び装置

報告書他

- 1) J. Chen, T. Hirayama, G. M. Lai, T. Tanji, K. Ishizuka and A. Tonomura: Opt. Lett., Vol.18, pp1887-1889(1993). "Real-time electron holographic interference microscopy using a liquid-crystal spatially modulator"
- 2) J.Chen,T.Hirayama,T.Tanji,K.Ishizuka and A.Tonomura: Opt. Communications, Vol.110, pp33-40(1994). "Video-rate electron-holographic interference microscopy and its application to dynamic observation of electromagnetic field"
- 3) J.Chen,T.Hirayama,G.Lai,T.Tanji,K.Ishizuka and A.Tonomura: Optical Review, in press. "Video-rate electron-holographic interference microscopy using a liquid-crystal panel"
- 4) T.Hirayama,J.Chen,T.Tanji and A.Tonomura: Ultramicroscopy, Vol.54, pp9-14(1994). "Dynamic observation of magnetic domain-walls by real-time electron holography"

他

〔研究者名〕 陳 軍

2. 液晶パネルによる実時間ホログラフィ表示技術（球面収差の実時間補正法）

電子線ホログラムの再生段階において、電子レンズの球面収差を高速かつ柔軟に補正する方法を考案し、実験によりその有効性を実証した。

研究成果の概要

- 1) レーザーによる電子線ホログラムの再生光学系のフーリエスペクトル面に液晶パネルを配置し、計算機により生成した位相変調パターンを表示することで、電子レンズの収差を高速かつ柔軟に補正する方法を開発した
- 2) ツイストネマティック液晶素子の強度変調特性と位相変調特性を調べ、位相変調素子として機能する条件を解明した。
- 3) 液晶素子に収差補正用のパターンを出力すると同時に、その真ん中のところに、 $\pi/2$ の位相シフトを与えるように印加電圧を加え、位相差顕微鏡法を実現した。
- 4) 焦点外れ量の調節や球面収差補正の実験で本手法の有効性を実証した。

（図 1、図 2）

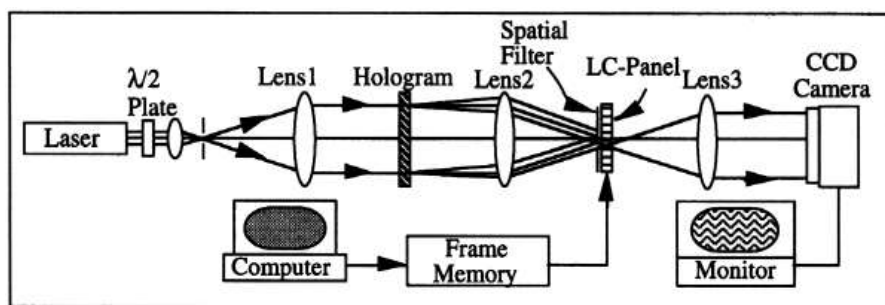


図 1 収差補正システム

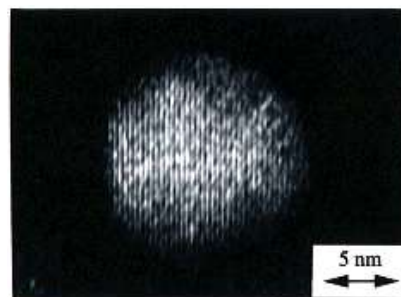


図 2 金微粒子の補正像

成果展開可能なシーズ、用途等

- 1) 電子レンズの収差を補正
- 2) 位相物体の観察

特許出願

- 1) 収差補正法及び収差補正装置

特 願：平 3-340782(平 3.12.24)

出 願 人：新技術事業団、外村 彰

請求の概要：ホログラムの像再生段階において、その記録光学系の収差を効率的に補正する方法とそのための装置

報告書他

- 1) J. Chen, G. M. Lai, K. Ishizuka and A. Tonomura: Appl. Opt., Vol. 33, ppl187-1193(1994).

"Method of compensating for aberrations in electron holographic by using a liquid-crystal spatial-light modulator"

- 2) J. Chen, T. Hirayama, K. Ishizaka and A. Tonomura: Appl. Opt., Vol. 33, pp6597-6602(1994). "Spherical-aberration correction using a liquid-crystal spatial-light modulator in off-axis electron holography"
- 3) J. Chen, G. M. Lai, K. Ishizuka and A. Tonomura: Proc. SPIE, Vol. 1889. pp 34-38(1993). "Aberration correction by electron holography using a liquid-crystal spatial-light modulator"

他

〔研究者名〕 陳 軍

3. 磁性体のホログラフィ観察方法

磁力線の直接観察により、磁性体内部の磁化構造を計測する。

研究成果の概要

- 1) ホログラムの撮影とコンピューターによる像再生により磁性体粒子の干渉顕微鏡像を得て、粒子の磁区構造を明らかにした。右には代表的な単磁区粒子、2磁区粒子を示す。(図1、図2)

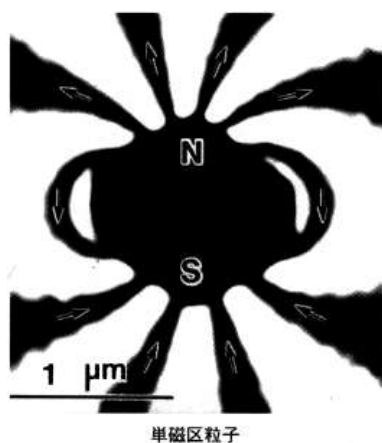


図1 単磁区粒子

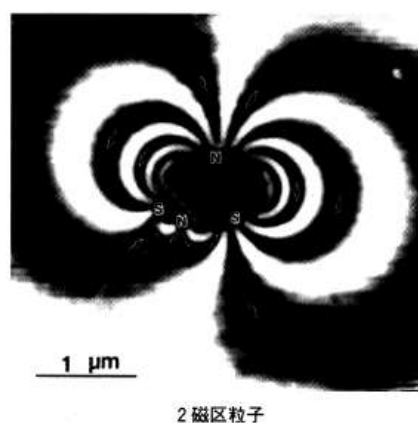


図2 2磁区粒子

- 2) 磁性体は一般には、磁気エネルギーが最小になるように多くの磁区を形成する(多磁区構造)が、粒子が非常に小さくなるとしだいに磁区の数が増減し、ついには単磁区となる。これは、微粒子特有の物理現象である。

成果展開可能なシーズ、用途等

- 1) 磁性材料、磁気デバイスの研究開発

特許出願

なし

報告書他

- 1) "Observation of Magnetic Domain States of Barium Ferrite Particles by Electron Holography" T. Hirayama, Q. Ru, T. Tanji and A. Tonomura, Appl. Phys. Lett. 63 418 (1993).
- 2) "Dynamic Observation of Magnetic Domains by On-line Real-time Electron Holography" Tsukasa Hirayama, Jun. Chen, Takayoshi Tanji and Akira Tonomura, Ultramicroscopy 54, 9 (1994).
- 3) "Observation of single magnetic-domain particles by electron holography". Tsukasa

Hirayama, Jun. Chen, Qingxin. Ru, Kazuo Ishizuka. Takayoshi Tanji and Akira Tonomura,
J. Electron Microsc.43(1994)190.

- 4) “磁性体のホログラフィ計測” 新技術事業団 創造科学推進事業 1993 研究報告会 1993
年 12 月(東京、経団連会館)
- 5) “磁性体のリアルタイム観察” 新技術事業団 創造科学推進事業 外村位相情報プロジェ
クトシンポジウム 1994 年 9 月(東京)P18
- 6) “微小領域の磁気現象” 新技術事業団創造科学推進事業 外村位相情報プロジェクトシン
ポジウム 1994 年 9 月(東京)P42

〔研究者名〕 平山 司

4. ホログラフィの高分解能化

電子線ホログラフィを用いた収差補正により透過形電子顕微鏡の分解能を向上させて、結晶構造を観察。

研究成果の概要

- 1) 200KV 透過形電子顕微鏡で 0.13nm までの情報をホログラムに記録再生することが出来た。
- 2) 1 枚の高分解能ホログラムから電子レンズの収差を推定するアルゴリズムを考案し、0.27nm の分解能のレンズで得られたタングステンとニオブの酸化物のホログラム(図 1) から情報を無収差で含む結晶構造像(図 2)を再生した。
- 3) 結晶表面をプロファイル像法で観察するのに、電子線ホログラフィによる収差補正が有効なことを示し、酸化マグネシウム微粒子の表面におけるポテンシャルの様子を観察した。(図 3)

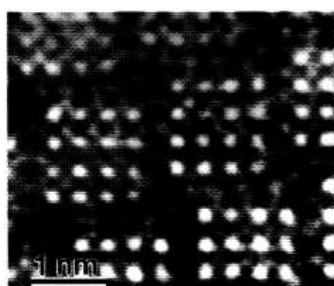


図 1

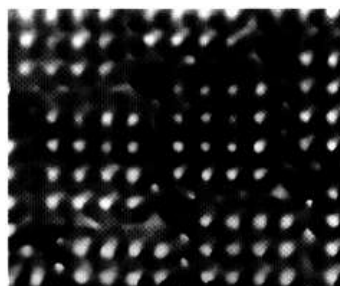


図 2

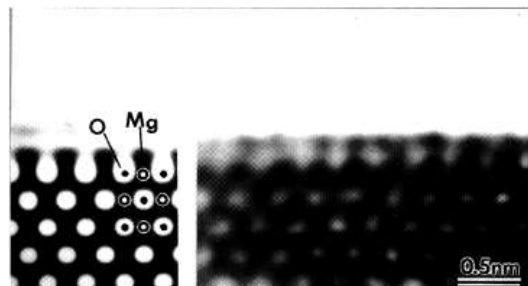


図 3

成果展開可能なシーズ、用途等

- 1) 表面、界面における原子配列の高分解能、高精度観察

特許出願

なし

報告書他

- 1) T.Tanji,K.Urata,K.Ishizuka,Q.Ru and A.Tonomura: Ultoramicronscopy,Vol.49,Nos.1-4 pp.259-264(1993). "Observation of Atomic Surface Potentials by Electron Holography"
- 2) T.Tanji and K.Ishizuka:Microsc.Soc.of America Bulleiten,Vol.24,No.2 pp 494-500(1994) "Observation of Crystal Structures by Using Image Restoration in Electron Holography"
- 3) T.Tanji,T.Ohno,K.Ishizuka and A.Tonomura: J. Electron Microsc.Vol.43 No.5 PP.318-321(1994). "Aberration-Free Image of an MgO Crystal Edge-An Application of Image Restoration in Electron Holography"
- 4) 丹司敬義:外村位相情報プロジェクトシンポジウム報告資料 pp.23-36(新技術事業団、1994 年 9 月).
〔研究者名〕 丹司敬義、石塚和夫、浦田研哉

5. 高分解能ホログラフィの理論的検討

電子レンズの収差係数の精密な推定方法の確立。

傾斜照明をもちいたシングルサイドバンドホログラフィの提案。

研究成果の概要

- 1) ホログラフィによれば収差を含んだ波面が再生されるので、原理的には収差を補正することが可能である。しかし、このためには収差を推定しなければならない。我々は試料を近似的な位相物体とみなして収差を推定する実用的な方法を確立した。
- 2) 収差補正を高角の散乱波に適用しようとするすると収差の推定を厳密に行わねばならない。この困難を避ける方法として傾斜照明を用いたシングルバンドホログラフィを提案した。さらに予備実験を行った。この方法によれば電子顕微鏡の分解能を2倍まで容易に向上できることが予測される。

(図1、図2)

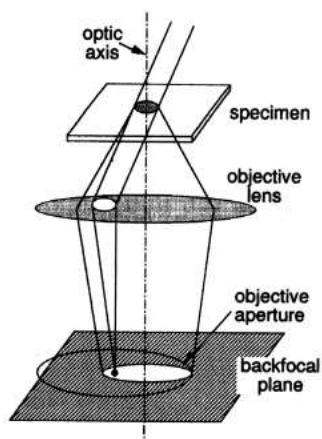


図1 傾斜照明をもちいたホログラフィ



図2 傾斜照明をもちいたホログラフィによる分解能の向上

成果展開可能なシーズ、用途等

- 1) 超高分解能電子顕微鏡法
- 2) 新素材開発における構造解析

特許出願

なし

報告書他

- 1) K. Ishizuka, T. Tanji and A. Tonomura: Atomic Resolution Electron Holography, Proc. 10th Pfefferkorn Conference on Signal and Image Processing in Microscopy and Microanalysis, Cambridge, SMI Suppl.6(1992)423-432.

- 2) K. Urata, K. Ishizuka, T. Tanji and A. Tonomura: An Application of Digital Filtering in Electron Holography at Atomic Resolution, J. Electron Microsc.42(1993)88-93.
- 3) K. Ishizuka: Optimized Sampling Schemes for Off-axis Holography, Ultramicroscopy 52(1993)1-5.
- 4) K. Ishizuka: Resolution Improvement by Tilted Single-sideband Holography: Preliminary experiments, Ultramicroscopy 53(1994)9-14.
- 5) K. Ishizuka: Number of Sampling Points Required for Aberration Correction using Off-axis Electron Holography, Ultramicroscopy 53(1994)297-303.
- 6) K.Ishizuka,T.Tanji,A.Tonomura,T.Ohno and Y.Murayama:Aberration Correction using Off-axis Holography,I.Aberration assessment,Ultramicroscopy 53(1994)361-370.
- 7) K.Ishizuka,T.Tanji,A.Tonomura,T.Ohno and Y.Murayama:Aberration Correction using Off-axis Holography,II.Beyond the Scherzed Limit,Ultramicroscopy 55(1994)197-207.
- 8) K. Ishizuka: High-Resolution Tilted Single Sideband Holography, in Electron Holography, Elsevier (1995) submitted.

〔研究者名〕 石塚和夫

6. 電子顕微鏡内縞走査法

電子顕微鏡内で電子線の干渉条件を変化させながら 3 枚以上の干渉図形を取り込み高分解能・高精度で各点の位相値を求める。

研究成果の概要

- 1) 電子線ホログラムの作成時において、入射電子ビームをわずかに傾斜させることによりホログラムの初期位相が変化する現象を見いだした。
- 2) 入射ビームを連続に傾斜させ、異なる初期位相を持つホログラムを TV カメラで実時間で計算機に取り込むシステムを構築した。
- 3) 新しく開発した解析アルゴリズムにより、初期位相が $0 \sim 2\pi$ の間に変化する多数フレームのホログラムから、試料の位相分布を高感度に検出した。
- 4) 空間分解能は縞幅の制限から解放され、位相検出感度も大幅に改善された。従来の一枚のホログラムからは見えなかった微弱位相変化を $\pi/100$ の精度で計測可能になった。

(図 1、図 2)

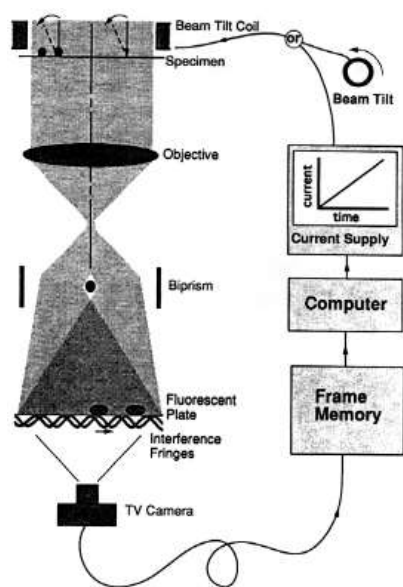


図1 電子光学原理及びシステム構成

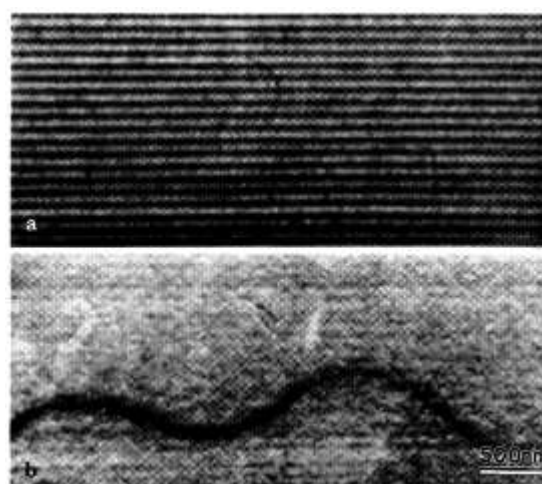


図2 a) バクテリア鞭毛のホログラムの一例
b) 異なる初期位相を持つ 100 フレームのホログラムから再生された鞭毛の位相像

成果展開可能なシーズ、用途等

- 1) 微小電場・磁場の検出
- 2) 高分解能干渉電子顕微鏡観測
- 3) 生物試料の観察

特許出願

なし

報告書他

- 1) 茹慶新:外村位相情報プロジェクトシンポジウム報告資料 pp.1-6(新技術事業団、1994 年 9 月).
- 2) Q. Ru, J. Endo, T. Tanji, and A. Tonomura: Appl. Phys. Lett., Vol. 59, pp. 2372-2374 (1991). "Phase Shifting Electron Holography by Beam Tilting"
- 3) Q. Ru, J. Endo, T. Tanji, and A. Tonomura: Optik, Vol. 92, pp. 51-55 (1992). "High Resolution and Precision Measurement of Electron Wave by Phase-Shifting Electron Holography"
- 4) K. Aoyama, G. Lai, and Q. Ru: J. Electron Microsc., Vol. 43, pp. 39-41 (1994). "Electron Holography Observation of Thin Biological Filaments"
- 5) Q. Ru, G. Lai, K. Aoyama, J. Endo, and A. Tonomura: Ultramicroscopy, Vol. 55, pp. 209-220 (1994). "Principle and Application of Phase-Shifting Electron Holography"

他

〔研究者名〕 茹 慶新、来 関明、丹司敬義、青山一弘、遠藤潤二

7. 三次元再構成法

X線CT法を電子線ホログラフィに応用し、外形・内部構造の立体観察を実現した。

研究成果の概要

- 1) 電子線干渉計測により得られる二次元位相情報を用いて、微小領域における静電ポテンシャル分布及び磁束密度分布をCTの手法により再構成できることを明らかにした。
- 2) 微粒子の内部ポテンシャル分布を三次元的に再構成することによって、ラテックス微粒子の三次元形状を計測した。(図1)
- 3) 磁場ベクトルについては、成分ごとに再構成するアルゴリズムを開発し、バリウムフェライト磁性粒子から出る空間磁束分布を三次元的に計測した。(図2)

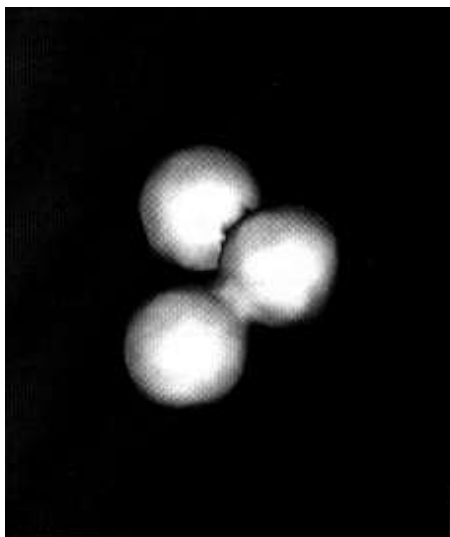


図1

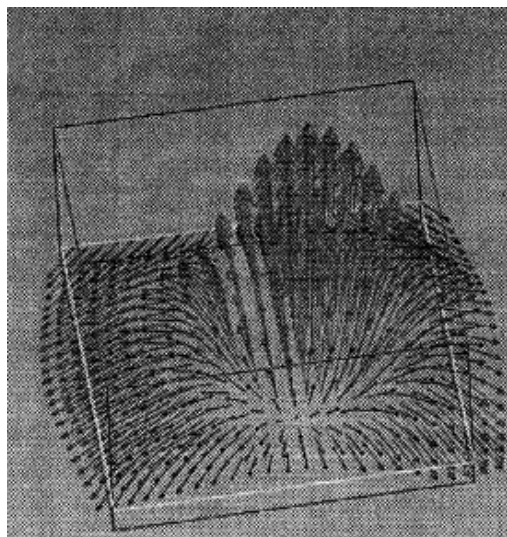


図2

成果展開可能なシーズ、用途等

- 1) 微粒子及び微小静電場の三次元構造解析
- 2) 磁気記録材料、磁気ヘッドから出る磁束密度の解析

特許出願

なし

報告書他

- 1) G. Lai, J. Chan. K. Ishizuka, and A. Tonomura, "Phase-extraction technique for electron holography using a grating optical system, "Appl Vol.31, pp.5940-5946(1992).
- 2) G. Lai, T. Hirayama, K. Ishizuka. T. Tanji, and A. Tonomura, "Three-dimensional reconstruction of electric-potential distribution in electron-holographic interferometry,"

Appl. Opt., Vol.33, pp.829-833(1994).

- 3) G. Lai, T. Hirayama, T. Tanji, K. Ishizuka, A. Fukuhara, and A. Tonomura, "Three dimensional reconstruction of magnetic vector fields using electron-holographic interferometry," J. Appl. Phys., Vol.75, pp.4593-4598(1994).
- 4) G. Lai, Q. Ru, K. Aoyama, and A. Tonomura, "Electron-wave phase-shifting interferometry in transmission electron microscopy," J. Appl. Phys., Vol.76, pp.39-45(1994).
- 5) G. Lai, T. Hirayama, A. Fukuhara, K. Ishizuka, T. Tanji, and A. Tonomura, "Electron holographic computed tomography," to be published in the proceedings of the International Workshop on Electron holography.
- 6) 電子線ホログラム CT(来 関明、平山 司、石塚和夫、丹司啓義、外村 彰)、第 53 回応用物理学会学術講演会講演予稿集 P796、平成 4 年 9 月 16 日。
- 7) 物質/場の三次元再構成(来 関明)、ERATO SYMPOSIA '92(TOKYO),67-72(1992).
- 8) 電磁場の三次元再構成(来 関明)、外村位相情報プロジェクトシンポジウム報告資料、59-64(1994 年 9 月 19 日)

他

〔研究者名〕 来 関明

8. 電子線回折干渉法

結晶で回折された電子線とバイプリズムを用いて新しい電子干渉法および電子線ホログラフィを実現した。

研究成果の概要

- 1) 結晶で回折された任意の 2 つの回折波どうしを電子線バイプリズムを用いて干渉させ、極めて高いコントラストの干渉縞を持つホログラムが得られた。(図 1)
- 2) 半導体人工超格子中の歪による電子線の位相変化が測定できた。(図 2)

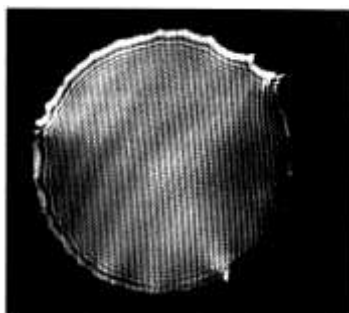


図 1



図 2

成果展開可能なシーズ、用途等

- 1) 結晶中の微小欠陥の研究
- 2) 電子源の干渉性があまり高くない通常の透過形電子顕微鏡を用いた電子線ホログラフィの実現

特許出願

電子線描画方法及電子線描画装置

特 願：平 5-190436(平 5.7.30)

出 願 人：新技術事業団

請求の概要：ビームスプリッタと電子線バイプリズムを用いて任意の形状干渉縞パターンを描画するための方法と装置

報告書他

- 1) R. A. Herring, G. Pozzi, T. Tanji and A. Tonomura: "Realization of a Mixed Type of Interferometry Using Convergent-Beam Diffraction and an Electron Biprism. Ultramicroscopy" Vol.50, No.1(1993). pp.94-100.
- 2) R. A. Herring and T. Tanji: Inherent Holography by Convergent Beam Electron Diffraction Plus an Electron Biprism (CBED+EBH) of a GaAs/InGaAs Superlattice. Proc. of the 13th International Congress on Electron Microscopy. Vol.1, pp.325-326.

3) R. A. Herring: Electron Beam Diffraction Interferometry and Holography"外村位相情報プロジェクトシンポジウム報告資料.pp.71-75(新技術事業団、1994 年 9 月).

〔研究者名〕 Rodney A.Herring、丹司敬義

9. 生体物質のホログラフィ観察技術

通常の電顕では大幅に焦点をはずさなければ観察できなかった試料が、正焦点で観察可能になった。

研究成果の概要

- 1) 電子顕微鏡内で、電子線の干渉条件を変化させながら高分解能・高精度で位相を計測する電子顕微鏡内縞走査法を弱い位相物体である生物試料に応用した。
- 2) バクテリアのフラジェラの観測結果(図1)においては太さ 24nm の蛋白質のフィラメントを高いコントラストで観察することに成功した。
- 3) 同観察において位相を定量的に評価できることを利用して試料の太さと厚さを計測することができることを確認した。

成果展開可能なシーズ、用途等

- 1) 電子顕微鏡における新しい観察技術
- 2) 生物試料構造解析

特許出願

なし

報告書他

- 1) 茹 慶新：外村位相情報プロジェクトシンポジウム報告資料、pp. 1- 6(新技術事業団、1994 年 9 月)。
- 2) 青山一弘：外村位相情報プロジェクトシンポジウム報告資料、pp.55-68(新技術事業団、1994 年 9 月)。
- 3) K. Aoyama, G. Lai, and Q. Ru: J. Electron Microscopy 43,39(1994).
- 4) G. Lai, and Q. Ru, K. Aoyama and A. Tonomura: J. Appl. Phys., 76, pp. 39-45(1994).
- 5) Q. Ru, G. Lai, K. Aoyama, J. Endo and A. Tonomura: Ultramicroscopy, 55, pp. 209-220(1994).

〔研究者名〕 青山一弘、来関 明、茹 慶新、松元隆夫

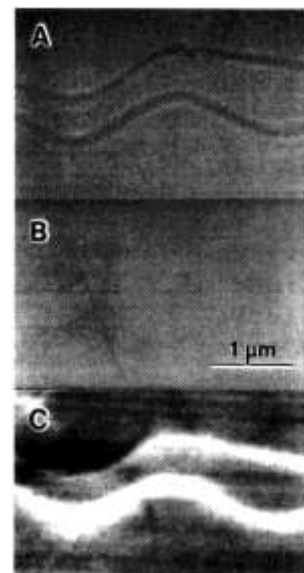


図1 電子線ホログラフィによる
フラジェラフィラメントの観察
(A)電子顕微鏡のデフォーカス像
(B)電子顕微鏡のインフォーカス像
(C)電子線ホログラフィ位相像
(インフォーカス)

10. 電子線のゆらぎに関する研究

電子線の量子力学的ゆらぎの観測を行うために高速応答の電子検出器と高精度の 5GHz デジタル相関器を開発

研究成果の概要

- 1) 電子のフェルミ統計性に起因するアンチバンチング現象の観測の可能性を検討
- 2) アンチバンチング現象の観測に要求される性能をもった検出器と相関器の開発
(表 1)

	項 目	性 能
相関器	動作速度	5 GHz
	誤計数率	$< 10^{-8}$
	内部ジッター	< 1 ps
検出器	出力パルス	tr/ta 180ps/270ps
	不感時間	480ps
	検出効率	85%

表 1 開発した相関器と検出器の性能

成果展開可能なシーズ、用途等

- 1) アンチバンチングの観測
- 2) 電子線のゆらぎの制御

特許出願

- 1) 荷電粒子検出器

特 願：未定(出願手続中)

出 願 人：新技術事業団、(株)日立製作所、浜松ホトニクス (株)

請求の概要：なだれ増倍機能をもったダイオードによる荷電粒子の高速タイミング検出

報告書他

- 1) S. Saito, J. Endo, T. Kodama, A. Tonomura, A. Fukuhara, and K. Ohbayashi: Phys. Lett. A, Vol162 p.442 (1992). "Electron counting theory"
- 2) N. Osakabe, K. Kodama, J. Endo, A. Tonomura, K. Ohbayashi, T. Urakami, and Y. Tsuchiya: To be published in Nucl. Instr. and Meth. A. "An electron counting system for crosscorrelation measurement"
- 3) N. Osakabe, K. Kodama, J. Endo, A. Tonomura, T. Urakami, and Y. Tsuchiya: To be published in Jpn. J. Appl. Phys. "Saturation of multiplication factor in Si-APDs for electron detection"

- 4) K. Kodama, N. Osakabe, J. Endo, A. Tonomura, and K. Ohbayashi: To be published in Phys. Lett. A "On the feasibility of observing electron antibunching "
- 5) K. Kodama, N. Osakabe, J. Endo, A. Tonomura, K. Ohbayashi, T. Urakami, and Y. Tsuchiya: To be published in Rev. Sci. Instr. "Development of an electron counting system – I – (A5-GHz precision digital crosscorrelator)"
- 6) N.Osakabe,K.Kodama,J.Endo,A.Tonomura,T.Urakami,and Y.Tsuchiya:To be published in Rev.Sci.Instr. "Development of an electron counting system – II – (High time resolution measurement of electrons by an APD)"
- 7) K.Kodama,N.Osakabe,J.Endo,A.Tonomura,K.Ohbayashi,T.Urakami,and Y.Tsuchiya:To be published in Phys. Rev. Lett. "Fluctuation of electrons"

〔研究者名〕 長我部信行、児玉哲司、遠藤潤二

11. 新干渉測定法

非晶質膜を散乱体に用いた干渉法など、新規の干渉法を提案。

研究成果の概要

- 1) 電子線の干渉性の制約の緩い干渉法として結晶薄膜を電子ビームの分割に利用する方法を確立した。
- 2) ホログラムの記録された位相情報を高精度で読みとる新しいレーザ干渉光学系を提案した。
- 3) 非晶質薄膜を散乱体に用いて試料を照射する新しい干渉法を提案した。

(図 1、図 2)

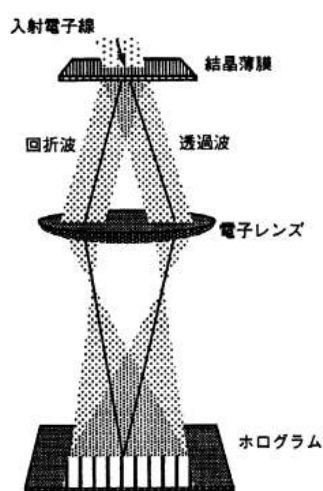


図 1 結晶薄膜による電子干渉計測法

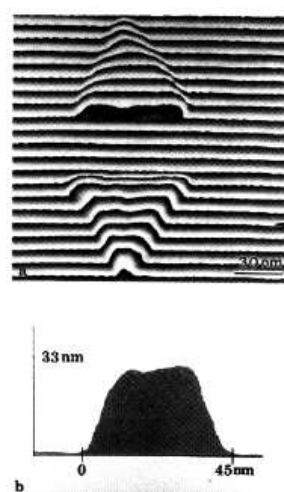


図 2 金蒸着微粒子の計測例

a. 厚さ分布

b. 矢印部の厚さプロファイル

成果展開可能なシーズ、用途等

- 1) 通常型電子顕微鏡による電子線ホログラフィ

特許出願

- 1) ホログラム再生方法及び再生装置

特 願：平 3-260704(平 3.10.8)

出 願 人：新技術事業団、(株) 日立製作所

請求の概要：変調された等間隔直線干渉縞からなるホログラムを 2 つの平面波を用いて高精度に再生する方法とそのための装置

- 2) 位相情報観測方法及び位相情報観測用干渉装置

特 願：平 4-213943(平 4.8.11)

出 願 人：新技術事業団、(株) 日立製作所

請求の概要：ハーフミラー等によって振幅分割が困難な電子線等を用いる位相情報観測方法及び位相情報観測用干渉装置

報告書他

- 1) 茹慶新:外村位相情報プロジェクトシンポジウム報告資料(1994年9月)65-70「インコヒーレント電子線ホログラフィー」
- 2) 茹慶新:創造科学技術研究報告会第3部講演予稿集('93.12.9)87-92「結晶薄膜による電子線ホログラフィ」
- 3) NG.M.Lai,J.Chen,K.Ishizuka and A.Tonomura: Phase Extraction Technique for Electron Holography Using a Grating Optical System. Appl.Opt.31(1992) 5940-5946
- 4) Q.Ru,N.Osakabe,J.Endo and A.Tonomura: Electron Holography Available in a Non-biprism Transmission Electron Microscopy. Ultramicroscopy 53(1994)1-7
- 5) 茹 慶新、外村彰 インコヒーレント電子線ホログラフィ応用物理 63(1994) 932-935

〔研究者名〕 茹 慶新、来 関明