U.D.C. 621.385.833

普及形超高圧電子顕微鏡HU-200の開発

Development of Model HU-200 Standard Type Ultra-high Voltage Electron Microscope

寧** 片桐信二郎* 宏*** 上野 定 赤 堀 Shinjirô Katagiri Sadayasu Ueno Hiroshi Akabori

要 旨

HU-200形電顕は、主として金属用電顕として開発された。加速電圧は最高200kVで、電圧安定度は 1×10⁻⁵/min 以下である。電源は、Cockcroft Walton 回路を用いた油浸形高圧発生装置と、フィルタ回路か らなっている。高圧発生装置を収容するタンク内の高圧絶縁には、CCl₂F₂、またはSF₆などのガスを用いた ため、軽量でコンパクトである。電子銃は単極で、ガス出しを行なうため、陽極円筒に大電流を流して直接加 熱する方式としてある。対物レンズの球面収差, 色収差は100 kV 電顕と同程度である。排気系は, モータ駆 動と真空計出力の連動により操作が容易であり、かつ停電時の安全性が考慮されている。X線の放出は使用状 態において 0.5 mr/h 以下である。

1. 緒 言

電子顕微鏡(以下電顕と略称する。)の応用分野は大きく分けて, 医学生物と工業材料, 金属関係である。後者のうち, 金属関係の試 料としては,多くの場合金属薄膜であるため,高電圧の電顕が要求さ れる。従来の100 kV では、2,000~3,000 Å 程度の金属薄膜を観察 するのが精一杯であるが、それ以上厚い金属の観察による知見は、

頭の場合とほぼ同等に設計することができる。

(4) 200 kV 電子線の試料透過能力は, 100 kV の場合に比較し て約1.6倍とされており(3), 電圧の上昇は効果的といえる。 したがって, 試料の作製が容易となり, 操作の容易さ, 性 能の安定性, 据付け, 点検の容易さを加味すれば, 応用研 究者にとって有用な装置となり得る。

高圧電顕で最もトラブルを生じやすいものは, 高圧発生装置と加

Bulk な金属の特性をうかがい知るためにぜひ必要である。 筆者ら はこの要求にこたえるため、さきに加速電圧 500 kV⁽¹⁾⁽²⁾、および 1,000 kV の電顕を開発した。しかしながら、この電顕は価格および 装置の据付けに伴う部屋構造,設備などに多くの条件をもつので, 広く普及させるには問題があった。

普及形高圧電頭を計画するに当たり、加速電圧の決定に関して次 の点を考慮した。

(1) 電源構造および加速管の構造の単純化,特に取り扱いの 容易さからみた場合,単極電子銃が多段加速電子銃に比較 してすぐれている。単極形電子銃の場合,150kV までは従 来から経験があるが、これをさらに 200kV まで伸すために は、 電極のガス出し処理を積極的

に行なう必要がある。

- (2) X線の防御の問題として,発生さ れるX線量は加速電圧のほぼ2乗 に, また鏡体を透過して外部に漏 えいするX線は、電圧のほぼ6乗 に比例して増加する。たとえば 500 kV の場合でみると, 観察室 の鉛ガラス厚みは80~100 mm 程度を要するが、加速電圧 200 kV の場合は,従来の100 kV 電顕に 比較して著しく大きくはならな l'o
- 200kV 電顕の場合は、レンズ系の (3)アンペアターン増加率は相対補正 の影響をうけること少なく,100

速管部である。高圧発生装置としては、経験の深いコッククロフト ウオルトン回路を油浸形として用い,加速管部は使用時にガス放出 のできる焼出し式とした。

2. HU-200 電顕の概要

HU-200の構成は,鏡体,高圧電源,およびレンズ電源に大別され る。鏡体は HU-11C 形電顕に比較してわずかに大きく, 高さは約 2.5 m である。高圧電源は、高さ約1.6 m、底面約80 cm 平方のキャ ビネット中に高圧発生装置,フィルタコンデンサ,高圧抵抗およびケ ーブルブッシングを収め,高圧絶縁に大気圧の絶縁ガスを用いたの で,軽量でコンパクトなものになった。高圧の駆動電源および定電





----- 57 ------

kVの場合に比べて約1.5倍です み,磁気飽和の影響が少なく,対

物レンズの焦点距離, 色収差係数, および球面収差係数を100 kV 電

日立製作所中央研究所那珂分室 工学博士 ** 日立製作所那珂工場 ***日立製作所那珂工場 工学博士

鏡体断面図 $\boxtimes 2$

574 昭和42年5月

H

論



は,500~1,000 kV 電顕で周知 である⁽¹⁾。特に比較的ひん度の 高いフィラメント交換の場合に 多くの繁雑な手数と時間を要す ることになる。この点では,単 極電子銃の場合が有利となる。 したがって本装置では,従来と 同様な取り扱いのできる単極電 子銃を開発したものである。

放射管部の構造は,内外2円 筒からなる2重構造である。図 4にその断面図を示す。電子銃 に対向する内円筒は薄肉のステ ンレス製であり,外円筒に対し て円筒の上部で支持され,電気 的にも結合されている。また, 内円筒の底部中央には陽極があ り,放射管部全体を乗せている 台(接地電位)に支持,結合され ている。外円筒底部のフランジ は接地台から絶縁ワッシャを もって浮いており,このフラン



図5 電子銃および高圧電源側ブッシング

圧回路はレンズ電源キャビネット中に収められ,電顕本体の操作盤で操作される。高圧電源の絶縁ガスとして,フレオン12またはSF6などを用いるため,高電圧回路の点検を容易に行なうことができる特長をもっている。

鏡体は1段加速の電子銃をもつ,放射管部,ダブルコ ンデンサ,電磁アライメント,および電磁スチグマトー ルをもつ照射系,汚染防止トラップを有する万能試料室,

ならびに3段の写像レンズ系からなる。観察室,およびカメラボッ クスは,特にX線の遮へいに注意して,鉛シールド,および鉛ガラ スにより使用時 0.5 mr/h 以下の放出量に押えている。図1に電顕 本体の外観図,図2に断面図,図3に配置図を示す。排気系の主バ ルブなどは,真空度連動の自動操作とし,終夜運搬時における停電 保護対策を採り入れ,操作の能率化を図った。

3. 鏡体の構造および特長

3.1 放射管部

電顕放射管部の設計で問題となるのは、単極か多極かである。従た図の来の商用電顕では、電極部、主として陽極円筒のガス出しが不十分なため、所要の真空が得られず、100kV 程度が最大電圧と考えられていたが、後述するような構造にすることに



図6 フリップトップ機構

ジと接地台との間に加熱用トラ ンスの2次巻線が接地されてい る。

電顕では,微小放電といえど も電圧の変動,および照射スポ ットのチラツキを生ずるから避 けなければならない。微小放電 は,対向する電極の表面状態, およびガス放出の不完全に起因 することが多い。特にフィラメ ントの交換を行なう場合に,手 の脂や湿気の吸着があると,交 換直後の放電による不安定期間

が長くなる。これを避ける最も理想的な処理としては、電極のベ ーキングによるガス出しがある。前述の構造からわかるように、フ ランジ部を端子として数 100 アンペアの電流を内円筒に流して、300 ~400℃の高温焼出しを行なうことにより、短時間に Out Gas を行 なうようにしたのがこの放射管部である。また陰極部はこのベー キング中フィラメントを点火して予備加熱を行なっておく。

放射管部と照射系の間にはエアロックがあり,放射管部に空気を 入れた場合にも,鏡体を高真空に保つことができるよう配慮されて いる。図5は電子銃および高圧電源側ブッシングの外観である。ま た図6はフィラメント交換のためのフリップトップ機構で,モータ

> /No.10 (GE 308350-8)



よって、単極でも200 kV の印加が可能となった。 高圧に対する安定性を考えた場合、 放射管部は接地円筒で、完全に密閉する必要があるが、多極加速管の場合は 構造が大きくなり、かつ、絶縁ガスの 抜き取り、封入に手間を要すること



照射系の断面図

図7



図8 対物,中間レンズの断面図

駆動により上ぶたを上げた所を示したものである。

3.2 照 射 系

照射系はダブルコンデンサおよび電磁アライメントからなる。ダ ブルコンデンサによるクロスオーバの縮小率は最大 1/20 であり, クロスオーバ像の大きさ30µとした場合, 試料面上のスポット径 は2µ以下となる。図7は照射系の断面図を示したものである。第 2コンデンサには電磁スチグマトールを用い,操作盤上で非点収差 の補正ができる。スチグマトールの構造、および性能は本誌の 「HU-11D形日立電子顕微鏡の諸特性」に述べたと同じ銅ハクを用 いている。

第1コンデンサに対する電子線の調整は、図4に示した陽極下部 のコイル、および機械的な調整による。機械的調整は、組立て時に 調整を行ない,あとは固定状態で使用する半固定方式で,通常の操 作状態では,前記電磁コイルによって輝点が出るように調整を行な う簡便な方式である。

第2コンデンサと試料室の間には、傾斜および水平の2段のアラ イメントコイルが設けられている。コイルの形状は、テレビなどの 偏向コイルとして用いられるくら形コイルである。このコイルは通 常は電子線のアライメントとして用いられるが、電流を切り換える ことによって試料に対して斜め照射を行ない, 暗視野像を得ること ができる。試料を見込む角で、200 kV における最大傾斜角は約2度 である。

限界は次のとおりである。半径を δ, 球面収差係数を Cs, 所要面間 隔を d と すると,

 $\delta = C_S(\lambda/d)^3 \quad \dots \quad (1)$

であるから, 今 d=0.8 Å とすると, 上記 Cs では 100 kV において は2,100 Å, 200 kV においては 650 Å となる。 200 kV における値 650 A は図8の断面図に示す制限視野絞り位置で、約6 μ 直径の制 限視野絞りに相当し、100 kV に比較して ½~¼ の微小面積まで対 応した回折線を取りうることがわかる。

加速電圧の上昇に伴う理論分解能 dmin の向上は, 次式(5) に従う

 $\alpha_{\text{opt}} = A \left(\lambda / C_S \right)^{\frac{1}{4}} \dots (2)$ と,

 $d_{\min} = B. C_S \frac{1}{4} \cdot \frac{1}{2} \frac{3}{4} \dots (3)$

ただし, A=1.4, B=0.43 とすると

α_{opt}=8.3×10⁻³rad, d_{min}=1.9 Å となり, 球面収差の増加を差引 いても, HU-11Dの場合より向上する。

金属試料の場合,最も実用的な収差として軸上色収差があるが, 今入射角,および金属透過によるエネルギー損失が100 kV,200 kV の両者について等しいとすれば、ほぼ電圧に逆比例して収差が減少 する。特に対物レンズを働かして暗視野像を観察する場合は、さら に入射角が波長に比例するから、色収差の減少が著しい。

対物レンズ磁路部には水冷を行ない、コイルの温度上昇を押える と同時に、微動ドリフトの減少につとめている。対物コントラスト 絞りは四つの絞りをクリックストップ形式でそう入できる。またス

200 kV における電子の波長は、 $\lambda = 2.507 \times 10^{-2} \text{ Å}$ であるから面 間隔約0.7 Aの回折まで暗視野像として観察することができる。偏 向コイルは試料室上部にまとめられているため, 傾斜装置, および その他付属装置の着脱に対して全く自由である。従来と同様、万能 試料室として用いることができる。

3.3 試料室および回折試料室

試料室は HU-11D 形と同様,万能形試料室であり,汚染防止用 の冷却トラップを後方排気管内に常備している。付属装置として、 試料傾斜装置(最大 30 度)加熱傾斜装置(800℃, 10 度) ひずみ装置, 冷却装置があり, 試料室を交換することによって, 微小部X線分析 装置(4)も取り付けられる。

回折試料室にも同様,高分解能回折試料装置,加熱,冷却,回折 試料装置,および磁区観察装置などが取り付けられ,高速電子線を 有効に利用できる。すなわち, 高電圧化に伴って高次反射が出やす くなること、および電子線による試料損傷が少なくなるため、有機 試料の電子回折が容易になる。特に投射レンズによる高分散回折 は,長周期面の電子回折に有利である。回折装置の正規位置から乾 板までの距離は450 mmで,投射レンズによる高分散カメラ長は最 大10mにおよぶ。なお電子回折指数は最小1×10-6である。

3.4 写像レンズ系

写像レンズ系は、対物、中間、および投射レンズである。200 kV 電顕では緒言にも述べたように,磁気飽和を考慮しても対物レンズ の諸収差係数は,100 kV 商用電顕に比較して著しく大きくならない 利点がある。図8は対物中間レンズの断面図を示したものである。 対物レンズ外径は220mmで, HU-11Dに比較して約10% 増大し ているが, 励磁アンペアターンは最大 9,000 AT まで取り得る。磁 路は漏えい磁束の少ない構造であり,最大励磁においても対物レン ズ磁極の磁気飽和は認められない。対物レンズポールピースは高分 解能用として孔径7øを,また試料傾斜装置用として上部22ø,下 部孔径150の異形レンズを用いる。高分解能用レンズの場合, 焦 点距離3.1 mm, 軸上色収差係数2.1 mm, また球面収差係数2.1 mm であり、それぞれHU-11D形の20% 増加にとどまる。 高圧電顕の一つの特長として,制限視野電子回折の精度の向上が ある。すなわち,対物レンズ球面収差の回り込みによる視野半径の

チグマトールは、第2コンデンサレンズに用いたものと同様銅ハク コイルを用いたもので、薄く、かつ小形にできるため対物レンズ磁 極間げき近くにそう入されている。したがって補正時の像のひずみ が小さい特長をもっている。また銅ハクは光軸に対して、あらかじめ 正しく対称に配置されているため,補正時の像の動きが少ない。スチ グマトールによる非点収差補正の方位精度は、5×10⁻²rad以下である ため、たとえば1µの非点隔差に対して0.05µ以下の補正ができる。 中間レンズは主として倍率変化に用いられるが, 3 個の投射レン ズ磁極と組み合わせることによって、広範囲の倍率が得られる。最 大倍率は 200 kV において 200,000 倍である。

投射レンズは3個の磁極をもち,投射レンズ単独倍率では10倍 から200倍までをカバーしている。したがって2段系の場合,1,000 倍から 20,000 倍の範囲を歪像収差 5% 以内でカバーしうる。制限 視野回折のカメラ長もまた投射レンズの倍率によって変化する。高 分解能用対物レンズを用いた場合,高拡大投射レンズによる最大カ メラ長は約650mmである。

3.5 観察室およびカメラボックス

観察室およびカメラボックスは,HU-11D形と同一構造である。 すなわち,正面および左右ののぞき窓を有し,蛍光板は正面のルー ペに対してほぼ直角になるよう回転される。露出計用感光部は観察 室上部に取り付けられ, 適正露光量は露出計本体に ランプ指示され る。使用する乾板サイズは82.5×120で18枚収納され,36視野の 露出ができる。

4. 排 系 気

超高圧電顕の排気系は高真空が得られると同時に、いわゆるきれ いな真空でなければならない。また操作の簡易化も重要で、特に操 作能率を高めるため終夜通電を行なう場合に, 安全な対策が施され ていなければならない。これらの点を考慮して新しく設計した。 放射管部の構造ならびに内円筒の焼出しはさきに述べたとおりで ある。さらに主排気管を総ステンレス製にして、外部からリボンヒ ータによる加熱焼出しが可能なようにしてある。加速管部の放電の 原因は,金属表面などに付着している油脂や油回転ポンプ(以下R. P)や油拡散ポンプ(以下D.P)などからの逆流油蒸気,および写真

----- 59 ------

日



ンプに空気がはいる。排気系の入 力スイッチはロックオン式である から, 交流が復帰しても人為的に 入力スイッチを投入しなければ排 気系は動作しない。朝のスタート 時には主スイッチを入れ, R.P, D.P のスイッチを入れてバルブコ ントロールのボタンを高真空の位 置におき,予備排気バルブによっ てカメラ, または試料室から排気 するようにしておけば,あとは真 空計のリレーが自動的にバルブを 開閉して鏡体を高真空状態に導 く。D.P の冷却水, R.P のエアリ ークはすべて電磁バルブによりそ れぞれのスイッチに連動して開閉 される。カメラ室, 試料室はエア ロックができるようになってい て,独立の補助排気系によって排 気することができる。補助排気系 には写真乳剤の乾燥器があり, 乾 板やフィルムは真空乾燥してから

論



200 kV Cable
Filament Condenser
Sampling Resistor
Operating Rod for Self Bias
Spherical Gap
Corona Shield
Resistor
Cockcroft Walton Circuit
I1 高圧電源タンクの内部



図10 高圧回路のブロック図

乳剤の吸着水分などである。装置全体の真空度を高めることはもち ろん必要であるが、同時にこれら有害蒸気源を少なくすることが大 切であり、この点で加熱焼出し、D.P 高真空側のバッフルおよびト ラップなどに多くの考慮が払われている。なお、試料室部の液体窒 素トラップは、後方排気管の接続点に設けられ、試料室の左右側面 をあけてあるので、付属装置などを使用する場合の自由度が大きい。

新排気系の排気速度は従来の系に比べて,著しく向上している。 電顕のように、多くの複雑な壁面と真空室内の操作を必要とする装 置では、ガスケット、写真乳剤からの放出ガス、操作に伴う各ガス ケット、0リングなどからの漏えいは避けることはできないもの で、高真空を得るため、排気管径を増大して鏡体口までの排気コン ダクタンスを大きくした。すなわち、D.Pとして6インチ、排気速 度1,2001/sを用い、主バルブまでのコンダクタンスを6001/sと 大きくとってある。図9は排気系の系統を示したものである。

主要バルブはモータ駆動として,操作の簡易化を図った。すなわ ち,バルブ操作はすべてプッシュボタン操作で,ボタン表面には操 作内容を示すサインが刻印してあるため誤操作が避けられる。主排 気系バルブは,真空計と連動して自動的に開閉するから操作に便利 であり,操作者の注意を排気系の操作から解放することができ,能 率的な作業ができる利点を有する。

図9に示すように、電子銃室はエアロックによって真空遮断でき るから、フィラメント交換は鏡体を高真空に保ったままできる。真 空計はピラニとペニングを組み合わせたもので、真空度に応じてバ ルブ操作、加速電圧回路の保護リレー操作を行なうよう特に設計さ れたものである。この装置ではバルブのモータ駆動をバッテリーに よる直流駆動とし、停電時には自動的にバルブを排気停止状態にお く。これは超高圧電顕では重要なことで、鏡体を常に高真空に保つ ために、連続通電が常識となりつつあるからである。本装置では停 電するとリレーが動作して主バルブ、補助バルブは閉止され、回転ポ カメラに装てんされる。鏡体をは じめ各室への注入空気は乾燥フィルタを通しているが,空気以外の 窒素やアルゴンなども注入できるようにしてある。

5. 高 圧 電 源

5.1 高圧電源の回路構成

まず高圧電源の回路構成を図10に示す。

高電圧は16段のコッククロフト(以下CWと呼ぶ)回路の整流出 力として得られ,高圧ケーブルによって電子銃と連結される。CW 回路の駆動は20kcの高周波電力による。20kcの信号電圧は弛張 振動発振器を用いて得られている。加速電圧を安定化するためには まず検出抵抗 R とフィラメントコンデンサ C₁, C₂ で加速電圧を分 割検出し,これを水銀電池100Vと比較してその誤差分を直流増幅 器を通して真空管のスクリーン変調器に負帰還させている。変調器 は20kcの信号電圧を振幅変調する。

電子銃フィラメントは 50 kc の 高周波点火で,フィラメントコン デンサ C₁, C₂ とトランス T₁, T₂ で高圧側に押上げている。発振器 と駆動増幅器は加速電圧と同様の回路方式である。

ビーム電流はセルフバイアス10段切換でモータにより,操作盤から遠隔操作される。

5.2 高圧タンク

高圧タンクには図 10 のうち点線のわく内を収納し,大気圧の絶縁 ガス (CCl₂F₂, または SF₆)を充てんしている。タンクの内部写真 を図 11 に示す。 CW 回路はセレン整流器と紙コンデンサ素子から なるパッケージをがい管に油封じ込みしたもので,制動抵抗 r₁を通 じてシールド冠に接続されている。フィラメントコンデンサ C₁, C₂ と検出抵抗Rは同一形状のがい管に封じ込まれ,フィラメントトラ ンス T₁ やバイアス切換ロータリスイッチなどの部品はシールド冠 内に配置されている。タンクはその中央部に高圧部を集めそのスペ ースを小さくした。またコッククロフト回路の高周波駆動電圧が, 検出抵抗や 200 kV ケーブルに誘導障害を与えないような配置とな っている。 図 12 にタンクの絶縁ガス系統図を示す。タンク内の絶縁ガスの 流れと圧力はガス制御器(バブラ)によって監視できる。ガスの充て 普及形超高圧電子顕微鏡 HU-200の開発





図14 18-8 ステンレススチールハクのデイスロケーション像加速電圧 200 kV

速電圧と連動して、励磁電流が変化する。対物電流はステップフォ ーカシングでいわゆるスルーフォーカスの撮影に便利なよう考慮さ れている。操作盤上端部には電子銃用の電磁アライメント、および コンデンサレンズ用の電磁アライメントツマミが用意されており、 また操作盤の前側壁には、第2コンデンサ、および対物レンズ用ス チグマトールのツマミがある。対物レンズおよび中間レンズ電流の 安定度は5×10⁻⁶/min 以下である。応用写真例として図14にステ ンレス薄膜の写真を示す。

図13 200 kV 高電圧の安定度

んはタンク底部に設けられた入口, 天井部に設けられた出口を通し て自重によりゆっくり行なわれる。充てん後は出入口のバルブを閉 鎖する。定期的に漏えいガス分を調べるために, タンク内に設けた 放電ギャップの火花放電でガスの耐圧をチェックできるようになっ ている。

5.3 コッククロフト (CW) 回路

本装置のCW回路のおもな定数は次のとおりである。

段	数	N = 16
入力駆動	周波数	f = 20 kc
コンデン	サ容量	$C = 0.06 \ \mu F$
直流出力	『電流(最大定格)	$L = 200 \ \mu A$
入力交流電圧(正弦波)		e = 14 kV PP

CW回路の入力インピーダンスは等価的にCRの並列回路で表わ される。本装置ではこの容量成分と並列にインダクタンスをそう入 して、その共振周波数fで駆動することによって電力効率を改善し ている。並列共振容量は C₀=490 PF である。 共振周波数を 20 kc とするために共振コイルのインダクタンスを 130 mH とした。共振 周波数 20 kc は可聴周波域外のため出力変成器の鳴音がなく、磁気 飽和のない空心コイルが用いられるなどの利点がある。

5.4 加速電圧安定度

図13に加速電圧安定度の測定データを示す。測定法は検出抵抗 と並列に測定用として、2,000 M Ωの炭素抵抗を付けて、100 V を 分圧し水銀電池100 V と比較し、50 c/s メカチョッパ増幅器とガル バノメータ(レコーダ)により記録したものである。データにおける 一方向性の長時間ドリフトは検出抵抗と測定用抵抗の温度ドリフト の差である。加速電圧安定度は起動後1時間で十分1×10⁻⁵/min を 満足している。

7. 結 言

普及形高電圧電顕として,新たに開発したHU-200の構造および 特長を述べたが,その要旨を総括すると次のとおりである。

- (i) 対物レンズなど電子レンズ系の諸収差,および倍率取扱い はHU-11D形電顕と大差なく,また据付けに要する部屋ス ペースなどもほぼ同程度ですむ。
- (ii) 200 kV 電子線の試料透過度は, 100 kV 電顕の約 1.6 倍と 計算される。また波長 λ が短くなったため,制限視野電子 回折の対応視野面の径は ½~¼ に減少する。
- (iii) 加速管部は単極でフィラメント交換が容易であり、かつ内 円筒の直接通電によるガス出し処理を行なうことによっ て、清浄な真空を得ることができる。
- (iv) 排気系はモータ駆動であり,かつ真空計の出力と連動して 自動的な開閉が行なわれる。したがって停電に対して安全 で終夜通電を行なうことができる。
- (v) 高圧電源は高周波電力によって駆動される油浸形コックク ロフト装置と、大気圧の絶縁ガスを用いた軽量コンパクト 形である。したがって設置に際して特にスペース、重量の 制限がきびしくない。

終わりに臨み, HU-200の開発を示唆され,多大のご指導とご援助を賜わった日立製作所中央研究所只野技師長,木村部長,日立製作所那珂工場牧野工場長,大沼部長はじめご協力をいただいた電顕部門関係者の各位に深くお礼申し上げる。

6. レンズ電流電源

ダブルコンデンサレンズ,対物レンズおよび投射レンズなどは加

参考文献

- (1) Tadano. B(et al): J. ob Electron Microscopy Vol. 14 p88-92 (1965)
 (2) Microscopy I and Alexandre Control of Cont
- (2) Nishigaki. M (et al): Sixth International Congress Electron Microscopy Kyoto 1 p 121 (1966)
- (3) Ueda R.:

— 61 —

- (4) 小笹, ほか: 日立評論 48 825 (昭 41-7)
- (5) Hain M. E.: Advancies in Electron Physics
- (6) Lorrein P. (et al): Con. J. Phys. 35 299~312 (1957)