特集・電子顕微鏡：その可能性と金属学へのインパクト

まえがき

平 林 真*

電子顕微鏡が出現してから半世紀が経過した。この50年間の金属学の発展に、電子顕微鏡が果たした役割ははかり知れないものがある。特に最近の性能と機能の向上によって電子顕微鏡は、材料科学および材料工学の研究には不可欠の手段となり、それによって得られた成果は、それぞれの分野に新しいインパクトを与えている。この特集号では、原子のスケールで金属およびセラミックスの組織を見る高分解能像観察、およびnm程度の微小領域の分析を主題として取り上げ、各方面の研究を展望し、将来の可能性をさぐることを試みた。

電子顕微鏡を用いて、材料の内部組織や結晶構造を原子のスケールで見ようという努力は長い間なされてきたが、それが可能となったのは最近である。小川らによって金属の格子像(Lattice image)が初めて観察されたのは、1958年である⁽¹⁾。その後格子像法はいろいろの金属結晶の研究に広く応用されてきたが、2波格子像には一組の結晶面を格子縞として示すにすぎないという本質的な制約がある。結晶構造を直接示す像を得るには、試料内で散乱された多数の電子波を用いる多波格子像法あるいは多波干渉像法(multi-beam または many-beam imaging)が用いられる。この方法は、1960年代後半から飯島ら⁽²⁾によって遷移金属の複合酸化物や多くの鉱物結晶など比較的大きな単位格子を持つ物質の研究に応用された。結晶内の原子配列と直接対応させることができる多波格子像を(結晶)構造像(structure image)とよんでいる。構造像が金属あるいは合金中の原子配列の研究に用いられるようになったのは、1970年代後半からで、それには超高圧電子顕微鏡の分解能特性の向上が大きな貢献をした⁽³⁾。

図1と図2は規則合金の逆位相境界を示す格子像(1958年撮影)と構造像(1980年撮影)である。合金の種類はちがうが、格子像では1本の縞として見えていた境

界が構造像では原子配列のずれとして観察されている。これは一例にすぎないが、原子スケールの高分解能像観察は、金属をはじめとする無機材料の研究に新しい情報をもたらしつつあり、その多くの成果がこの特集号の前半をかざっている。

材料研究における電子顕微鏡の役割は、単に物質内部を拡大して見るだけでは不十分で、微小領域の構成元素を同定し、その結合状態を明らかにすることが望まれる。これにこたえるのが、いわゆる分析電子顕微鏡でその有用性が各方面で実証され急速に普及してきた。この特集では、分析電子顕微鏡の持つ主要な2つの機能；入

図1 CuAu II の格子像(100 kV 電顕, 東北大学 太田平四郎氏提供)。

図2 Au-20 原子%Mn の逆位相境界, 白点は Mn 原子に対応(1000 kV 電顕, 東北大学 平賀賢二氏提供)。

* 東北大学教授；金属材料研究所
An Introduction to Atomic Imaging and Microanalysis
with Electron Microscopy ; Makoto Hirabayashi (The
Research Institute for Iron, Steel and Other Metals,
Tohoku Univ., Sendai)
1983年6月28日受理

射電子によって標的原子から励起される特性X線の分光を行うエネルギー分散型X線分光(Energy Dispersive X-ray Spectroscopy, EDX)と、標的原子に当たって費やされた透過電子のエネルギー損失を分光する、電子エネルギー損失分光(Electron Energy Loss Spectroscopy, EELS)の金属およびセラミックス材料への応用がのべられている。前者がNaよりも重い元素に対して有効であるのに対し、後者がB, C, O, Nなど軽元素の検出にすぐれ、互いに相補的に用いられるが、特にEELSは単に元素の同定だけでなく、その電子状態や周囲の環境に関する貴重な情報を提供するので、これからの発展が期待される。

特集号とはいえ、予定の頁数をかなり超過する結果となったが、それでもなお、この一冊ではカバーできなかったいくつかの問題が残った。例えば、結晶表面や粒界界面の観察がある。粒界については最近の特集「粒界・相界面」⁽⁴⁾を、また結晶表面の高分解能観察については、八木らの解説⁽⁵⁾⁽⁶⁾を参照願いたい。また、超高压電子顕微鏡の最近の応用、あるいは分析電子顕微鏡に関する解説としては、本誌の他の記事で補っていただきたい^{(7)~(9)}。さらに、欧文誌 Trans.JIM, 6月号は「電顕格

子像による金属組織の研究」の特集で、多数のオリジナル論文がおさめられているので、一読をおすすめする。

また、この分野に興味のある方々には、最近刊行された2冊の邦書⁽¹⁰⁾⁽¹¹⁾が教科書あるいは参考書として有用であることをつけ加える。

文 献

- (1) 小川四郎, 渡辺伝次郎, 渡辺 宏, 菰田 孜: 電子顕微鏡, **7**(1958), 11.
- (2) 飯島澄男: 日本結晶学会誌, **18**(1976), 373.
- (3) 堀内繁雄: 日本金属学会会報, **14**(1975), 315; 固体物理, **13**(1978), 119; 電子顕微鏡, **17**(1982).
- (4) 石田洋一, 市野瀬英喜: 日本金属学会会報, **20**(1981), 487; **22**(1983), 165.
- (5) 八木克道: 材料科学, **18**(1982), 329.
- (6) 八木克道, 高柳邦夫, 小林国男: 電子顕微鏡, **16**(1981), 128.
- (7) 平林 真: 日本金属学会会報, **20**(1981), 845.
- (8) 藤田広志: 日本金属学会会報, **21**(1982), 915.
- (9) 吉田博行: 日本金属学会会報, **21**(1982), 925.
- (10) 上田良二編集: 電子顕微鏡, 実験物理学講座 23, 共立出版, (1982).
- (11) 美浜和弘: HREM の分解能をきめる因子, 物理学最前線 3, 大槻義彦編, 共立出版, (1983), p.165-224.