

めっき膜のエピタキシー

渡辺 徹

東京都立大学工学部工業化学科 192-03 八王子市南大沢 1-1

(1994年6月13日受理)

Epitaxy of Plated Films

Tohru WATANABE

Department of Industrial Chemistry, Faculty of Engineering, Tokyo Metropolitan University
Minamiosawa, Hachioji, Tokyo 192-03

(Received June 13, 1994)

エピタキシーに関する研究のほとんどは蒸着やスパッタリングなど、ドライプロセスにおける薄膜形成のものである。しかし、ウェットプロセスであるいわゆるめっき膜のエピタキシャルに関するものもいくつかある。それによると、素地材料が金属材料であるとき、めっき膜はすべてエピタキシャル成長をし、素地材料と結晶学的に何らかの整合関係をもって密着していることを報告している。これはめっき膜は金属材料そのものであり、素地の金属と金属結合しているからであろう。本論文ではそれらの整合関係と、界面の結晶学的な歪を調整するために現れるミスフィット転位や、ミスフィット双晶についても解説した。

1. はじめに

エピタキシャル成長に関する研究のほとんどは蒸着やスパッタリング法など、ドライプロセスにおける薄膜形成のものである。しかし、ウェットプロセスであるめっき法によって形成されるいわゆるめっき膜のエピタキシャル成長についてもいくつかの実験がある。それらによると、素地材料が金属である場合はめっき膜はすべてその素地結晶と整合成長していることを報告している¹⁻²⁶⁾。むしろ結晶学的に整合しないで密着している場合はなかった。これは「めっき膜は本来金属材料そのものである」ため²⁷⁾、その「界面における結合が金属結合をするため」であろう²⁸⁻³¹⁾。

2. 素地金属とめっき膜との整合関係

めっき膜のエピタキシャルに関する実験はつぎのように行われる。薄いめっき膜でめっき膜が素地金属に密着した状態で反射電子線回折をするか、または素地金属を透過電子顕微鏡で透過可能な薄さにし、その上に薄いめっきを施し、素地とめっき膜とを電子線によって同時に透過回折をする方法である³²⁾。後者の方法の例を Fig. 1

に示す。Fig. 1はブリッジマン法によって作製した銅の単結晶をエメリーペーパーやバフ研磨、そして最終的に電解研磨を施し、電顕観察用薄膜を作製し、その上に電析法によって金をめっきし、透過電子顕微鏡で両者を同時に電子線回折したものである。(a), (b), (c)はそれぞれ {100} Cu, {110} Cu, {111} Cu 面上にめっきしたものである³³⁾。回折斑点はそれぞれ放射方向で対になっている。対のうち、内側の強い回折斑点は素地の銅からのもので、外側の斑点は電析金膜からのものである。このことから、素地の銅結晶とめっき膜の結晶とが結晶学的に整合していることがわかる。これらの整合関係については後述する。回折図形の中にはさらに小さな斑点が多く見られるが、それらは双晶によるものと2回回折によるものである。

この電析金膜がさらに厚さを増加させたときの表面形態を Fig. 2 に示す¹⁹⁾ (a-(1), (2), b-(1)~(3), c-(1)~(3)は透過電顕によるレプリカ写真。a-(3)はSEM写真)。(1), (2), (3)はそれぞれの単結晶面上で、厚さ方向に成長する過程である。(a)は {100} Cu 面上の形態であり、初期にはステップが見られるが、平板状のめっきである。しかし、一つのピラミッド状の突

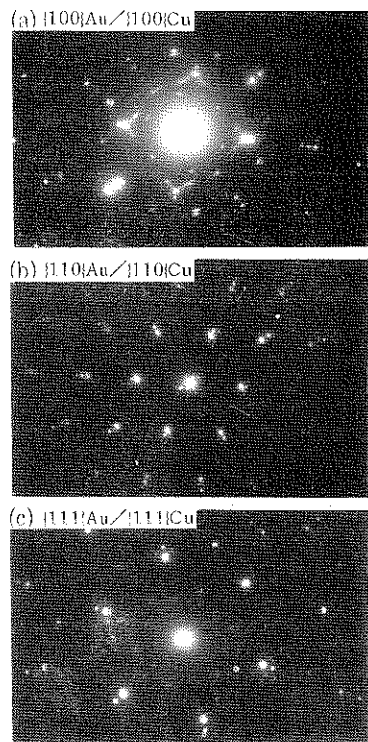


Fig. 1 Simultaneous electron diffraction patterns of electrodeposited Au film and Cu substrate with (a) {100}, (b) {110} and (c) {111} planes.

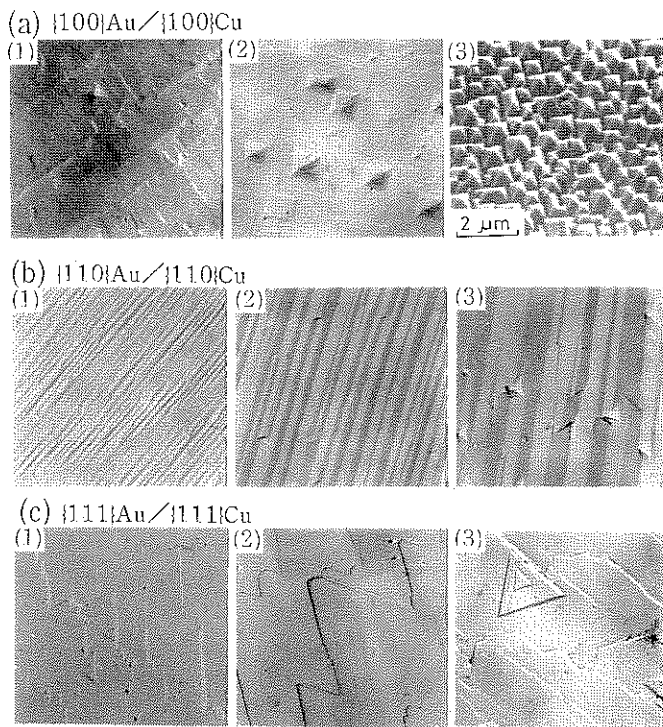


Fig. 2 Morphology of Au film electrodeposited on Cu single crystal substrate with {100}, {110} and {111} surfaces. (1), (2) and (3) show the increase in average thickness of deposited film.

起も現れている。このピラミッド状の突起は時間とともに多くなる。(b)は {110} Cu 面での形態であり、初期から長屋の屋根の形態をしており、めっき時間の経過とともにそれらが大きくなっている。また(c)は {111} Cu 面上の金めっき膜の形態であり、ステップが見られ、60度または120度の角度のキックが見られる。

以上の形態から、素地の結晶方位の違いで、めっき膜の形態が異なることがわかる。このことから、めっき膜と素地金属とが結晶学的に整合していることがわかる。またこの表面形態の違いの理由は、金結晶の容易成長面が {111} 面であり、その面を外表面に表わすからである。すなわち素地銅の表面が {100} Cu 面のときは、その上に成長する金膜は、めっきの初期には {100} 面を表面に表わすが、めっき膜がある程度厚くなると {111} 面を表わすようになる。このとき {100} 面と {111} Au 面とは 54.73° の角度にあり、また {111} 面と {111} 面とは 70.53° の角度に等価に4面あるために、図に示すようなピラミッド状(四角錐状)の形となるのである。素地が {110} Cu 面のときは {111} 面は 35.27° の角度に二面等価にあるために長屋の屋根の形になるのである。また素地表面が {111} Cu 面のときは、Au はその面が容易成長

面であるため、膜厚を厚くしてもいつまでも {111} 面を表わし、大きな突起とはならず平滑な膜成長を続ける。

3. めっき膜と素地金属との整合関係

種々の素地金属上に種々のめっき法で、かつ種々の金属(一部合金もある)をめっきしたときの整合関係について著者の知る限りを Table 1 に示す。

以上の結果からわかることは、結晶系が同じで、格子定数も近い場合、たとえば、Cu 素地上への Ni めっきの場合は、同じ面指数同士(たとえば {100} 面同士)を結合させる。この Cu と Ni とのミスフィットは $m=2.523\%$ である¹³⁾。しかし、Fe(bcc)素地上への Cu(fcc)めっきのように結晶系も格子定数も異なるとミスフィットを小さくするように回転して結合する。この場合の整合状態を模式的に示すと Fig. 3 のようになる²⁾。このときのミスフィットは {110} Cu と {100} Fe 面で $m=10.84\%$ であり、{110} Fe と {100} Cu 面で 10.82% である。このようにするほうが同じ面同士(たとえば {100} 同士)を合わせたときのミスフィット ($m=28.12\%$) よりも小さくなるからであろう。また Fe(bcc)素地上への Au(fcc)めっきの場合(Fig. 4)も同様に回転した整合関

Table 1 Crystallographic relationships between deposited film and substrate

Plating method	Deposited film/substrate	Crystallographic relationship	Reference
substitute plating	Cu(fcc)/Fe(bcc)	(001) Cu// (001) Fe, (101) Cu// (101) Fe, (111) Cu// (111) Fe [100] Cu//[110] Fe, [011] Cu//[010] Fe, [011] Cu//[121] Fe	2)
substitute plating	Au(fcc)/Fe(fcc)	(001) Au// (001) Fe, (110) Au// (110) Fe [100] Au//[110] Fe, [110] Au//[001] Fe	3, 4)
electroplating	Au(fcc)/Fe(bcc)	(001) Au// (001) Fe, (110) Au// (110) Fe [010] Au//[110] Fe, [110] Au//[001] Fe	5~7)
electroless plating (NaPH_2O_2)	Au(fcc)/Fe(bcc)	(001) Au// (001) Fe, (110) Au// (110) Fe [010] Au//[110] Fe, [110] Au//[001] Fe	8, 9)
contact plating	Au(fcc)/Fe(bcc)	(001) Au// (001) Fe, (110) Au// (110) Fe [010] Au//[110] Fe, [110] Au//[001] Fe	10)
substitute plating	Ag(fcc)/Cu(fcc)	(001) Ag// (001) Cu, (110) Ag// (110) Cu, (111) Ag// (111) Cu [100] Ag//[100] Cu, [110] Ag//[110] Cu, [110] Ag//[110] Cu	11)
substitute plating	Au(fcc)/Cu(fcc)	(001) Au// (001) Cu, (011) Au// (011) Cu, (111) Au// (111) Cu [100] Au//[100] Cu, [011] Au//[011] Cu, [011] Au//[011] Cu and/or (122) Au// (111) Cu, (112) Au// (111) Cu, (112) Au// (111) Cu [111] Au//[101] Cu, [111] Au//[110] Cu, [111] Au//[011] Cu and/or (011) Au// (111) Cu [100] Au//[121] Cu	12)
electroless plating (NaBH_4)	Ni(fcc)/Cu(fcc)	(100) Ni// (100) Cu, (110) Ni// (110) Cu, (111) Ni// (111) Cu [020] Ni//[020] Cu, [020] Ni//[020] Cu, [220] Ni//[220] Cu	13, 14)
electroplating	Au-Pd(fcc) alloy/Cu(fcc) at $a=4.05 \text{ \AA}$	(001) Au-Pd// (001) Cu, (011) Au-Pd// (011) Cu, (111) Au-Pd// (111) Cu [100] Au-Pd//[100] Cu, [100] Au-Pd//[100] Cu, [011] Au-Pd//[011] Cu and/or (112) Au-Pd// (111) Cu, (121) Au-Pd// (111) Cu, (211) Au-Pd// (111) Cu [110] Au-Pd//[110] Cu, [101] Au-Pd//[101] Cu, [011] Au-Pd//[011] Cu	15)
electroless plating (NaBH_4)	Ni(fcc)/Fe(bcc)	(101) Ni// (001) Fe [111] Ni//[110] Fe, or [111] Ni//[110] Fe (misfit crystal)	16~18)
electroplating	Cr(bcc)/Cu(fcc)	(110) Cr// (001) Cu [112] Cr//[220] Cu, or [112] Cr//[220] Cu (misfit twin crystal)	19~23)
electroplating	Fe(bcc)/Au(fcc)	(100) Fe// (100) Au, (110) Fe// (110) Au, (110) Fe// (111) Au [011] Fe//[001] Au, [110] Fe//[001] Au, [001] Fe//[110] Au	24)
electroplating	Cu(fcc)/Au(fcc)	(100) Cu// (100) Au [001] Cu//[001] Au	25)
electroplating	Co(hcp)/Au(fcc)	(2110) Co// (100) Au [0002] Co//[002] Au	26)

係をとる³⁻¹⁰⁾。この場合のミスフィットは $m=0.628\%$ と 0.617% で、きわめて小さい。逆に {100} 面同士を結合させるとミスフィットは $m=42.29\%$ ときわめて大きい。

また、整合関係はめっきの方法によらず、素地金属とめっきの金属とが同じであれば整合関係は同じである。たとえば、Fe 素地上に Au めっきを行った場合で、置換めっき³⁾、電気めっき⁵⁻⁷⁾、無電解めっき⁸⁾、接触めっき⁶⁾の結果があるが、いずれも同じ Fig. 4 の整合関係となっている。

素地金属とめっきの金属が入れ替わっても同じ整合となる。たとえば、Au の上に Fe をめっき²⁴⁾しても、逆に Fe の上に Au をめっき²⁻⁶⁾しても Fig. 4 で示した整合関係となっている。

また Cu(fcc) 素地上への Au(fcc) めっき¹²⁾では {100} Cu(a) と {110} Cu(b) 面上へは同じ指数で整合を示しているが、{111} Cu 上では3種類の整合が観察されている((c-1), (c-2), (c-3))。それらを Fig. 5 に示した。同じ結晶面上へ同じ指数で整合するときのミスフィットは 12.8% である。しかし {111} Cu 上では(c-2)や(c-

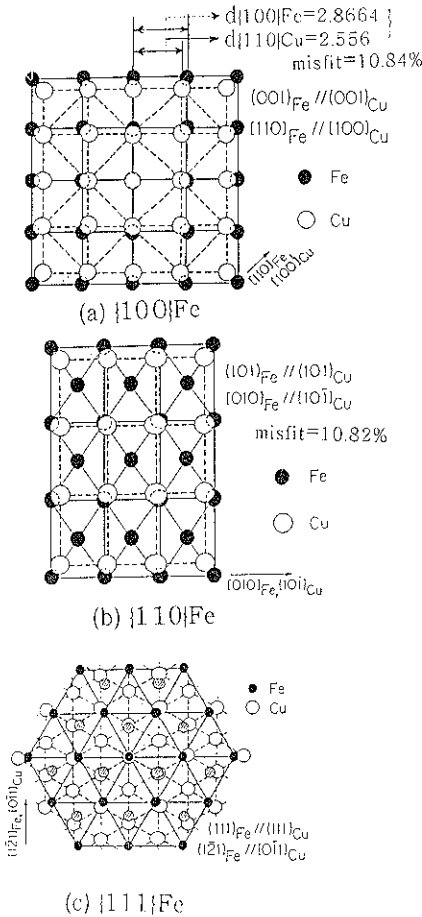


Fig. 3 Crystallographic coherent conditions between deposited Cu film and (a) $\{100\}\text{Fe}$, (b) $\{110\}\text{Fe}$ and (c) $\{111\}\text{Fe}$ substrates.

3)の整合状態も現れ、(c-2)の整合のときは、 $[101]\text{Cu}$ 方向では一つ目のAu原子と三つ目のCu原子とが結合する形($m=7.9\%$)となるなど複雑である。(c-3)の場合は、 $\{101\}\text{Cu}$ と $\{101\}\text{Au}$ 面で $m=12.8\%$ であるが、 $\{121\}\text{Cu}$ と $\{100\}\text{Au}$ 面では $m=7.88\%$ となる。このように $\{111\}\text{Cu}$ 面上では3種類((c-1), (c-2), (c-3))の場合がある。これはいずれの場合も、ミスフィットは小さいが、ほとんど同程度であるためであろう。ミスフィットを考えると、1方向、または2方向のミスフィットを計算して比較するのではなく、結晶学的に密着したときの全方位のトータル、すなわち、積分値で考え比較しなければならないであろう。またFig. 5(c)で現れた3種類の整合については、本来1種類であるが、Auめっきの上にさらに別の方位でAuめっきが形成し、互いに整合しているために現れた可能性も考えなければならない。

Au-Pd合金¹⁵⁾は、両金属ともfcc構造をとり、合金

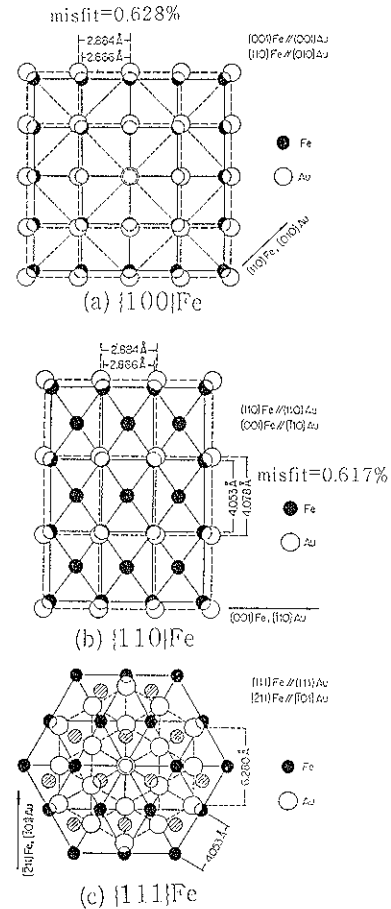


Fig. 4 Crystallographic coherent conditions between deposited Au film and (a) $\{100\}\text{Fe}$, (b) $\{110\}\text{Fe}$ and (c) $\{111\}\text{Fe}$ substrates.

化すると全率固溶型の熱平衡状態図を示すが、めっきの場合もめっき条件のいかにかわからず、熱平衡状態図と同じように、合金の組成に比例して格子定数が変化する(Vegardの法則に従う)²²⁾。それぞれの格子定数は、素地のCuは $a=3.1650\text{Å}$ であり、Pdは $a=3.8898\text{Å}$ 、Auは $a=4.0786\text{Å}$ である。したがって、この実験を詳細に行えば、素地の格子定数(一定)に対して、めっき膜の格子定数が変化したときの整合関係についてシステムティックな情報が得られるはずである。しかし残念ながらまだその実験は行われていない。

Table 1中でFe素地上へのNiめっき¹⁶⁻¹⁸⁾、およびCu素地上へのCrめっき¹⁹⁻²³⁾で、「ミスフィット双晶」と書いたが、これについては後述する。

2. ミスフィット転位²⁴⁾

素地とめっき膜とが整合するとき、それらが結晶系を異にしたり、格子定数が異なると、界面には格子欠陥が

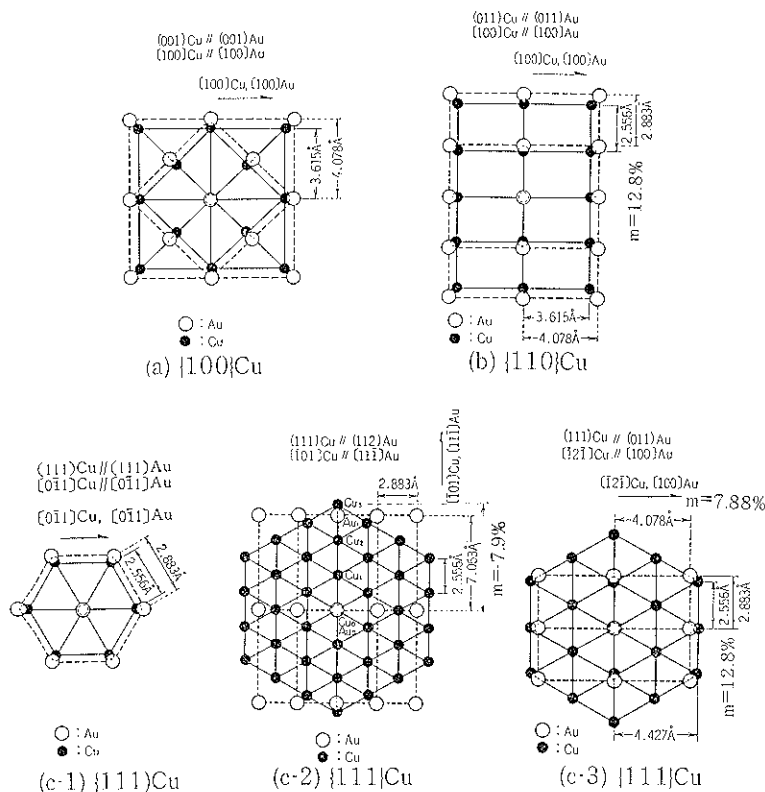


Fig. 5 Crystallographic coherent conditions between deposited Au film and (a) $\{100\}\text{Cu}$, (b) $\{110\}\text{Cu}$ and (c) $\{111\}\text{Cu}$ substrates.

導入される。その一つにミスフィット転位がある。Fig. 6 は Au $\{100\}$ 素地上に Fe をめっきし、Au と Fe とを同時に透過電子顕微鏡によって観察したものである。バンドコンターラインの周辺に多くの転位が見られる。転位はほぼ直角に交差している。Au と Fe の結晶系と格子定数はそれぞれ Au (fcc, $a=4.078\text{Å}$), Fe (bcc, $a=2.8664\text{Å}$) であり、いずれも大きく異なる。このときの整合関係は Fig. 4 のように回転して整合する。このときのミスフィットは、Au の $\{110\}$ 面の面間隔は 2.884Å であり、また Fe の $\{100\}$ 面の面間隔は 2.8664Å であ

るので、その差は 0.0176Å となり、ミスフィットとして計算すると 0.6098% できわめて小さい。このように整合すると、整合歪は小さくなるが、小さいといえども素地の Au の原子配列に対して 473 個おきに Fe 原子が 1 個不足する。理論的にはその度にミスフィット転位が入ることになる。Fig. 6 ではほぼ直角方向で多数交差して見られる直線状のコントラストがその転位である。

3. ミスフィット双晶^{16~23)}

整合歪を調整する機構として、さらにミスフィット双晶がある。積層欠陥である双晶を形成することによって歪を調整する方法である。その様子をつぎに示す。

bcc 構造の Fe 素地の $\{100\}$ 面上に、fcc 構造の Ni をめっきしたものの同時透過電子顕微鏡写真は Fig. 7(a) のように微細なチェックのコントラストが見られる。また電子線回折図形は (b) で、この回折図形は Fig. 8 のように解析される。すなわち、(a) は 101 晶帯の Ni が二つ互いに双晶関係にあるように描いた。双晶軸は 111 である。このキーダイヤグラムを 90 度回転させ、再び (a) の図に重ねたのが (b) である。そしてさらにこの図形に 100 晶帯の Fe の回折図形のキーダイヤグラムを



Fig. 6 Misfit dislocations appeared in the interface between Au substrate and Fe deposited film

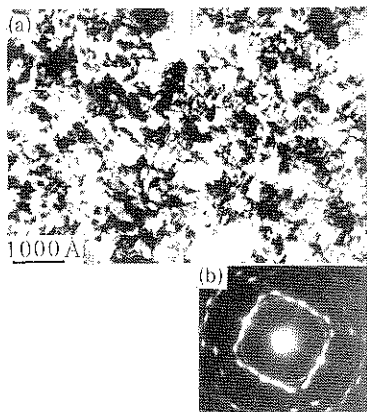


Fig. 7 Misfit twin crystals appeared in the interface between Fe substrate and Ni deposited film (a), and its electron diffraction pattern (b).

重ねると(c)となる。ところで、実際に $\{100\}$ Fe 素地に Ni めっき膜がついた状態で同時電子線回折したものが Fig. 9 であり、Fig. 8(c)と同じである。以上のように、著者が解析した図形と、実際の回折図形とが一致し、解析が正しかったことがわかる。したがって、Fig. 7(a)のチェックのコントラストは微細な双晶によるものであることがわかる。すなわち、Fig. 7は多くの双晶を含んだ 101 晶帯の Ni の微結晶が互いに直角で集合しためっき膜である。

Fig. 7(b)および、Fig. 8(c)とから、素地とめっき膜との整合関係を求めると、 $(001)\text{Fe} // (101)\text{Ni}$ で、 $[110]\text{Fe} // [110]\text{Ni}$ 、または $[110]\text{Fe} // [111]\text{Ni}$ となる。

さらにこの関係で原子を並べたのが Fig. 10(a)である。この図では○印を基準に素地 Fe と Ni の結晶を合わせてある。この図形から $[121]\text{Ni}$ 方向では比較的整合が良いが、 $[111]\text{Ni}$ 方向では良くない。そこで、極端な場合として、 $\{111\}$ Ni 面に一層ごとに双晶粒界を導入すると Fig. 10(b)のようになる。このようにすると $[111]\text{Ni}$ 方向の整合はかなり良くなる。したがって Fig. 7 の Ni めっき膜中の双晶の形成は、素地 Fe との整合歪を調整するために現れたものであることがわかる。この双晶はミスフィット転位に対して「ミスフィット双晶」といえる。

以上のようなミスフィット双晶は Cu 素地 (fcc) 上に成長した Cr(bcc) めっき膜中にも現れる¹⁹⁻²³⁾(解析の詳細についてはオリジナル論文¹⁹⁻²³⁾を参照)。この場合の双晶軸は 211 で、整合関係は

$$(001)\text{Cu} // (110)\text{Cr} \text{ で}$$

$$[220]\text{Cu} // [112]\text{Cr}$$

または

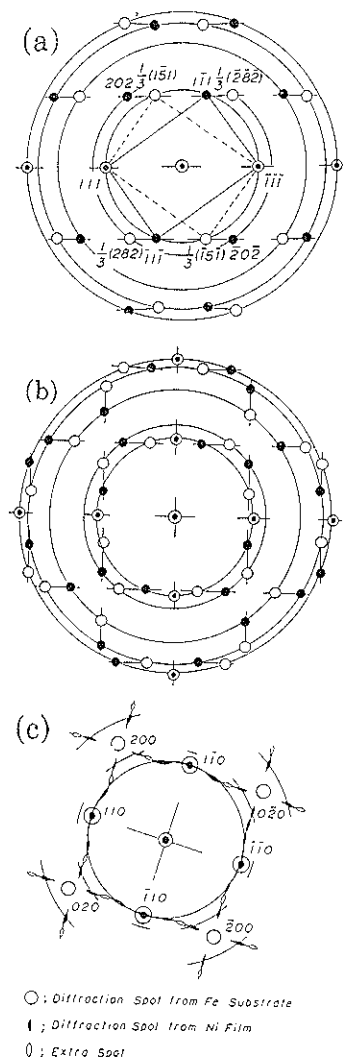


Fig. 8 Proceedings of analysis of electron diffraction pattern of Fig. 7 (b).

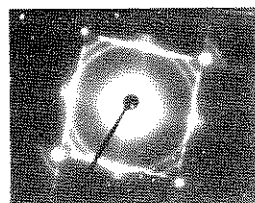


Fig. 9 Simultaneous electron diffraction pattern of Ni film and Fe [100] substrate.

$$[2\bar{2}0]\text{Cu} // [112]\text{Cr}$$

である。ここで現れた双晶も素地の結晶に整合させるために現れたもので「ミスフィット双晶」であることがわかった¹⁹⁻²³⁾。

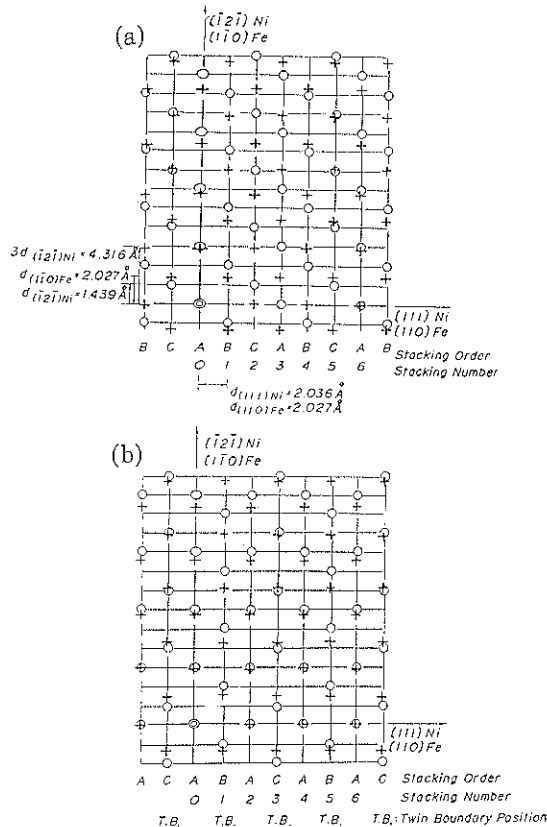


Fig. 10 Ni atoms arranged on Fe substrate with relationship of $(100)Ni \parallel (101)Fe$, $[111]Ni \parallel [110]Fe$ shown in Fig. 8 (a). (b) is same arrangement with (a), but includes many twin boundaries in $\{111\}$ plane of deposited Ni film.

5. おわりに

以上種々の素地上に成長する種々のめっき膜のエピタキシャルについて述べてきた。このようにウェットプロセスによって形成されるめっき膜も、素地が結晶質の金属である場合はいずれもエピタキシャル（何らかの結晶学的整合関係をもって）成長する。むしろ整合関係をもたないで成長することはなかった。結晶系が異なる場合でも、たとえば fcc の素地上に bcc のめっき膜が成長する場合はミスフィットが小さくなるような方向に結晶を回転させて整合させる。

このようにめっき膜の整合性や密着についてはかなり明らかになってきた。これまでめっき膜自身の結晶構造については制御性や再現性が低く、めっき技術は試行錯誤の技術のように思われてきた。しかし、「めっき膜も金属材料そのものである」と考えると、めっき膜の結晶学的組織は熱平衡状態図に密接に関係しており^{27,28)}、構造制御および物性制御も十分可能である^{27,28)}。最近めっき

法によるアモルファス³⁰⁾や多層膜の形成に関する研究も多く出され³⁶⁾、めっき法による機能性薄膜や、機能材料の作製の研究が盛んになっている。めっき技術の発展を願うものである。

文 献

- 1) 渡辺 徹：金属表面技術 37, 440 (1986).
- 2) 田辺良美, 石橋一久：金属表面技術 18, 41 (1976).
- 3) 田辺良美, 浦尾亮一, 小倉俊昭：金属表面技術 19, 261 (1968).
- 4) 田辺良美, 浦尾亮一：金属表面技術 19, 265 (1968).
- 5) 田辺良美, 釜崎清治：金属表面技術 21, 281 (1970).
- 6) 田辺良美, 釜崎清治：金属表面技術 22, 54 (1971).
- 7) 田辺良美, 釜崎清治：金属表面技術 23, 572 (1972).
- 8) 田辺良美, 松林 宏：金属表面技術 21, 436 (1970).
- 9) 田辺良美, 松林 宏：金属表面技術 21, 335 (1970).
- 10) 田辺良美, 松林 宏：金属表面技術 21, 479 (1970).
- 11) 田辺良美, 浅野省三, 中島浩志：金属表面技術 22, 461 (1971).
- 12) 田辺良美, 須藤俊久：金属表面技術 24, 333 (1973).
- 13) 田辺良美, 渡辺 徹：金属表面技術 36, 642 (1972).
- 14) 渡辺 徹, 田辺良美：金属表面技術 25, 36 (1974).
- 15) 田辺良美, 清水保雄：金属表面技術 26, 19 (1975).
- 16) 渡辺 徹, 田辺良美：金属表面技術協会第 48 回講演大会要旨集 (1973) p. 132.
- 17) 渡辺 徹, 田辺良美：日本金属学会誌 39, 1 (1975).
- 18) T. Watanabe and Y. Tanabe: Transactions of the Japan Institute of Metals 25, 531 (1984).
- 19) 千早 正, 浦尾亮一：金属表面技術協会第 69 回講演大会 (1971) p. 169.
- 20) 千早 正, 浦尾亮一, 今野広一：金属表面技術協会第 71 回講演大会 (1972) p. 229.
- 21) R. Urao: Phys. Status Solidi (a) 40, 567 (1977).
- 22) 渡辺 徹, 田辺良美：日本金属学会誌 46, 742 (1982).
- 23) T. Watanabe, N. Hasegawa and Y. Tanabe: Transactions of the Japan Institute of Metals 17, 655 (1976).
- 24) 池淵 博：修士論文, 東京都立大学工学部昭和 51 年度 (1977).
- 25) 田辺良美, 掛川正幸, 清水保雄：材料科学 13, 255 (1976).

- 26) 清水保雄, 田辺良美, 掛川正幸, 富田秀雄: 金属表面技術 **29**, 131 (1978).
- 27) 渡辺 徹: 鉄と鋼 **76**, 1597 (1990).
- 28) 渡辺 徹: 表面技術協会第 85 回講演大会 (1992) p. 224.
- 29) E. W. Dickson, M. H. Jacobs and D. W. Pashley: Philosophical Magazin **9**, 575 (1964).
- 30) W. H. Cleghern and J. M. West: Transaction of the Metal Finishing **45**, 43 (1967).
- 31) K. Kamei and Y. Omori: J. Applied Electro-chemistry **17**, 821 (1987).
- 32) 渡辺 徹: 金属表面技術 **33**, 20 (1983).
- 33) 今井 宏, 渡辺 徹, 田辺良美: 金属表面技術 **34**, 129 (1983).
- 34) 清水保雄, 田辺良美: 金属表面技術 **27**, 574 (1976).
- 35) 増本 健, 渡辺 徹: “アモルファスめっき法とその応用” (日刊工業新聞社, 1990).
- 36) 渡辺 徹, 掛川正幸: 表面科学 **14** (9), 565 (1993).

Bookstand

実験化学講座 13 表面・界面

日本化学会編

(丸善 A 5 判 583 ページ 7,210 円)

材料の構造や電子物性, 反応特性などを原子レベルで理解し制御する試みが盛んに進められている。対象とする構造が微細になるにつれ, 表面/界面の果たす役割の重要性は増すばかりである。しかし, 表面/界面の観点から, 材料や表面技術に関する内容をまとめたものは少ない。本書は, 表面/界面の作成・評価に関連した内容を幅広い分野にわたって, 豊富な写真, 図, データを使用することにより, 初学者にも非常にわかりやすくまとめたものである。最新のデータも記載され, 参考文献も充実しており, 初心者を親切に導くだけでなく, 第一線で研究に従事する者にとっても非常に役立つ内容といえる。

1章, 2章は表面/界面を念頭において, 各種試料の作成および評価法が紹介される。1章“固体試料の作成と取扱”では, 単結晶, 薄膜・多層膜, 微粒子分散系の三つの系について, 結晶面の作成と方位の決定, 分子線エピタキシーや気相成長法, 各種微粒子の調整法などに関する詳しい説明がある。また, 2章“分子集合体試料の作成と状態分析”では, 有機薄膜および分子分散系の作成法, 状態図に基づく相構造, 機能化のための分子設計, 光学的手法や核磁気共鳴などを利用した各種物性の解析法などがまとめられている。3章“固体表面の観察と構造解析”では, まず, 前半の部分で, 透過/走査型電子顕微鏡, 光電子顕微鏡, 走査トンネル顕微鏡, 電界放射/イオン顕微鏡, の各種顕微鏡について, 原理, 装置の説明に加え, 動的な過程を原子レベルで追う最近の結果などを例として, 測定法, 解析法が詳しく紹介される。続いて後半では, 電子線回折, 光電子回折, X線吸収微細構造について, 原理, 解析法のほか, 電子銃や電源の作製法, 試料調整などをも含む丁寧な解説がある。4章“表面状態分析”は, 各種電子分光, 二次イオン質量分析, イオン散乱による元素分析・状態分析法と, 赤外分光やラマン分光, 電子エネルギー損失分光などの振動分光の解説で, 3章と併せて, 多彩な固体表面分析技術が概観できる。5章“固体表面の反応特性, 物性研究手法”は, 主として固体表面における吸着原子・分子の吸着量, 吸着状態, 化学反応に関する内容で, 昇温脱離法や, 反応素過程の解析, 光化学過程, 表面電位と仕事関数の測定法などがまとめられている。

最後に付録として, 内核単位の結合エネルギー, オージェ電子のエネルギーをまとめた表が付されており, 本文中の豊富なデータと併せて, 固体表面の研究者ばかりでなく, 材料開発を目指す研究者にも広く役立つ利用価値の高い本といえる。ぜひ, ご一読をお薦めします。(重川秀実)