

최근 산업용 Ion Plating 장비에 관한 고찰

권식철 · 유명철 · 백운승

한국 기계연구소 표면 공학실

Review on recent ion-plating system for an industrial use

SiK-Chol Kwon, Myung-Cheul Yoo, Woon-Seung Baek

Surface Engineering Lab. Korea Institute of Machinery & Metals

66 Sangnam-dong, Changwon, Kyungnam, Korea.

1. 서 언

도금산업이 자동차, 전자산업과 함께 고급화, 고기능화로 발전하면서 도금방법도 기존의 습식도금 방식에서 새로운 건식도금 방식의 활용이 80년대초부터 장식분야에 서서히 이루어 지기 시작하였다. 건식도금은 도금층의 효과가 습식도금보다 우수한 장점이 있지만 기본적인 설비투자가 동일 생산능력에 비하여 많이 들고, 작업방법도 습식방식과는 전혀 다른 까닭에 처음 설비도입 계획에서부터 세심한 검토가 요구된다. 본고에서는 최근 국내 도금업체의 관심사로 되어있는 TiN 코팅생산용 이온도금 설비의 이해를 돕고자 각제조업체 설비에 대한 기본원리 및 그 특성에 관하여 고찰코자 한다.

2. 산업용 Ion-Plating 장비

Mattox에 의한 Ion-Plating의 개발이 1963년 최초로 이루어진 이래 산업적으로 그 활용에 성공한 것은 Al도금으로 항공기 분야의 내식성 활용이었다.

그후 질화 화합물인 TiN을 습식 도금과 내마모 경질 도금을 대체키 위하여 개발되어 구미, 일본등 선진국에선 이미 정착되었고 국내 산업계에서도 기술도입 및 장비도입이 점차 이루어지고 있다. TiN

코팅용 Ion-Plating 장비는 Ti의 기화시키는 방식에 따라 증발원(evaporation source)와 스파터(sputtering source)로 대별되며 표 1과 표 2에 이들 방식에 따른 제조회사 제품의 설비특성을 비교표로 나타내었다.

다음은 이들 설비에 관한 좀더 상세한 설명을 통하여 장비 자체에 대한 이해를 돕고자 한다.

2.1 증발원 방식(Evaporation Source Systems)

가. Balzers 사

Fig. 1에 Balzers사의 장치 개략도를 나타내었다. 이 장치는 $25-10^{-3}$ Torr (Medium Vacuum) 정도에서 작동되는 전자총을 부착하여 열전 arc가 용기내를 통과하여 도가니(Crucible)를 충돌함으로써 증착물질을 증발시켜 이온화를 증가시킨다. 용기벽 주위에 부착된 시료는 증착전에 전자충격에 의해 가열되며, 증착시에는 회전되며 증발원은 수직으로 왕복운동을 하여 균일한 두께를 가진 증착층을 얻을수 있다. 이 장비는 서독의 공구제작회사인 Guhring사에서 TiN Coating을 위해 처음 사용된 이래 리이텐 슈타인의 Presta AG사, 서독의 Zahr Fabrik사, 미국의 Barber Coleman등의 공구제작사에 납품실적을 갖고 있다.

표 1. 산업용 증발원 방식 Ion Plating 장비 (TiN 코팅용)

항 목	제조사 Balzers (리히텐슈타인)	Multi-Arc (미 국)	Vac-Tec (미 국)	Ulvac (일 본)	Tec-Vac (영 국)
• Model 명	BA1 730	MAV 40	ATC 400	IPB 45	IP 35 L
• Type	Single Chamber	좌 동	좌 동	좌 동	좌 동
• 증발방법	E/B	Arc	Arc	HCD 전자	E/B
• 별도 이온화 장치유무	유	무	무	무	유
• 기관 승온방법	E/B	Ti	Ti	복사가열	Ar
• 기관 온도 (°C)	450	이온충격	이온충격	500	이온충격
• 기관 전압 (-V)	<1000	300-500	450 (Preclean) 150 (중착시) 선택사양	-	350-500
• 기관 회전유무	유	무	선택사양	유	유
• 증착압력 (mTorr)	0.75-3	3-6	3-6	3-6	3-6
• 처리시간 (Hr)	2.3	2.0	1.1	2.3	2.3
• 피막두께 (um)	1.5-4	3-6	3-5	2-6	2-4
• 용기체적 (m ³)	0.1	0.2	0.102	0.072	0.14
• 최대처리량 (kg)	600	225	-	-	300
• 장비가격 (천불)	830-1,105	420-500	670	420-500	250-280
• 소요전력 (KVAh)	100	50	120	90	50
• $\phi 6$ Drill 처리량/Batch	700-800	600	-	-	1000-1600
• $\phi 100 \times H100$ (m/m) Hob 처리량/Batch	-	40	-	16	30

표 2. 산업용 Sputtering 방식 Ion Plating 장비 (TiN 코팅용)

항 목	제조사 Leybold-Heraeus (서 독)	Leybold-Heraeus (서 독)	Dowty (영 국)	TI-Abar (영 국)
• Model 명	ZU 1200	Z 700p2/2	DSC 91	Glo-Tine 24X36
• Type	dc Magnetron Sputtering, 연속 3 Chamber 식	dc Magnetron Sputtering, 단일 Chamber 식	RF Sputtering 연속이중 Chamber (Air Lock 부착)	dc Sputtering 단 일 chamber
• Target - 형상	두쌍 Target	한쌍 Target	다축 Rod 식	원통형 $\phi 0.6 \times H1$ (m)
- 전압 (-V)	500-600	300-1000	2000 RF	-
- 별도 열원유무	무	-	유, 방전가열	유, 복사가열
• 기관 승온유무	유, 300-600 (C)	선택사양	무	유, 간접복사가열
• 기관 온도 (C)	300-500	50-300	최대 250	450-500
• 기관 전압 (-V)	250	-	0-1000	<1000
• 기관 회전 유무	선택사양	유	유	무
• 증착압력 (mTorr)	19	-	-	11-21
• 처리시간 (Hr)	0.7-1	1	1.7-3	8
• 피막두께 (um)	2-3	0.3-0.5	0.2-3.0	2-4
• 용기체적 (m ³)	0.41	0.15	0.04	0.17
• 장비가격 (천불)	-	280	-	460
• 소요전력 (KVAh)	-	40	-	10-20
• $\phi 6$ Drill 처리량/Batch	6000	800	4200	1200

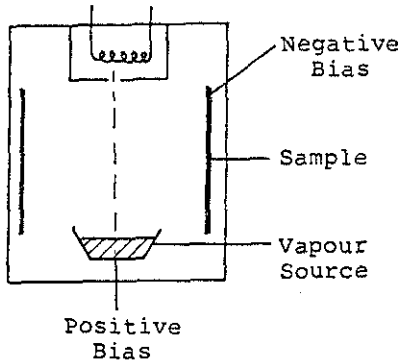


Fig. 1. Schematics of Balzers' system

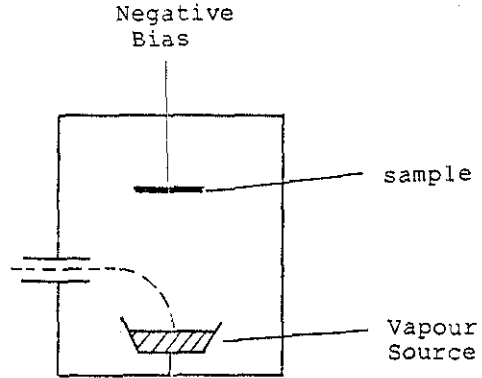


Fig. 2. The HCD system layout

나. Tecvac 사

Tecvac사는 증발금속의 이온화율을 높이기 위해 전자총 방식과 열전자 방출 전극을 사용함으로써 작업변수를 독립적으로 변화시킬수 있게 하였다. 열전자 방출 3극관 배열(Thermionically Assisted Triode Arrangement)은 1967년 Baum에 의해 처음으로 Ion Plating장비에 사용되어짐으로서 첫째, 방전을 손쉽게 조절할수 있고 둘째, 낮은 전압을 사용함으로써 공정의 안정화를 꾀할수 있고, 셋째, 낮은 압력에서 코팅이 가능하며, 마지막으로 기판전압이 낮아짐에 따라 이온전력이 낮아져서 기존의 2극관 방식의 문제점인 불필요한 가판가열이 감소될 수 있다는 장점이 있다. Tecvac사의 장비는 영국 Holt Bors 열처리, Halifax, TPL LTD, Skelmersdale사에서 사용되어지고 있으며 스위스의 Bernex사와도 제휴를 하고 있다.

다. Uvac 사

일본의 Uvac장치는 HCD(Hollow Cathode Discharge) 전자총을 사용하고 있다. 이 방법의 이온화율 증진방안은 1968년 Morley와 Smith에 의해 처음으로 소개된 이래 Wan, Chambers와 Carmichael 등에 의해 단일원소의 Ion Plating에 HCD전자총이 사용되어 졌다.

현재 Uvac장치는 TiN Coating용으로 약 30기 정도가 보급되어 있어 일본내에 Uvac그룹내의 Ti-Gold와 Univac외에 Mitsubishi를 비롯한 다수의 공

구 제작회사에 납품되어져 있는 상태이며, 유럽에는 이태리의 Samputensilli사, 미국에는 Star Hobbs, General Magnaplate사 등에서 이 장비를 보유하고 있다.

라. Multi-Arc 사, Vac-Tec 사, Cat-Arc 사

위의 장비 제작사들에서 사용되어지고 있는 Arc 증발원 방식은 1958년 영국의 Metropolitan-Vickers사에서 처음으로 Arc증발원의 특허를 출원한 이래 Multi Arc사는 1971년 미국내 출원된 소련특허를, Vac-Tec사는 1971년 미국내 특허를 허가 받아 사용하고 있다. Fig. 3은 최근 특허에 기초를 둔 Arc 증발원 방식장치의 개략도를 나타낸 것이다.

Arc증발원 방식의 원리를 살펴보면 먼저 음극표면에 일단 Arc가 발생하면 밀도가 높은 금속 Pla-

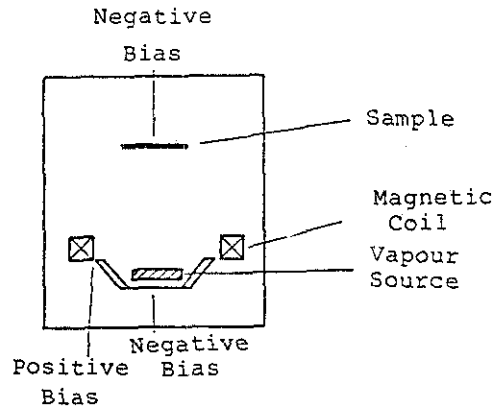


Fig. 3. The arc source system layout

sma를 방출하게 되는데 이때 Plasma는 높은 이온 에너지를 갖게되며 계속적으로 이온을 증식하게 된다. 전형적인 Arc Spot의 크기는 10um 정도로서 Spot당 전류밀도는 $10^6 - 10^8$ A/cm이다. 특히 Arc 증발원에는 용융 pool이 형성되지 않기 때문에 하향 증착이 가능한 특징을 가지고 있다. Arc 증발원 방식의 장치는 현재 Multi-Arc사의 장비가 세계적으로 널리 보급되어 있는데 예로서, 서독의 Siemens Interatom사 불란서의 Vidionipue사, 미국의 Cleveland Twist Drill, TRW사, Wales의 JJ Castings사 등이 있으며 극동지역에 판매 대리점으로서 일본의 공구제작사와 진공장비회사가 있다.

2.2 Sputter원 방식 (Sputtering source Systems)

가. Dowty 사

Dowty전자회사는 1960년대로부터 개발해온 'Hot Rod' 방식을 채택하고 있는데 이 방식은 Duckworth의 보고에 상세히 언급되어 있다.⁷⁾ 다른 Sputtering 방식과 달리 Target를 고온으로 (약 1000℃) 가열되는데 이는 Target에 화합물을 합성케 위함이다. Fig.4에 Dowty사의 Hot Rod방식 장치의 개략도를 나타내었다.

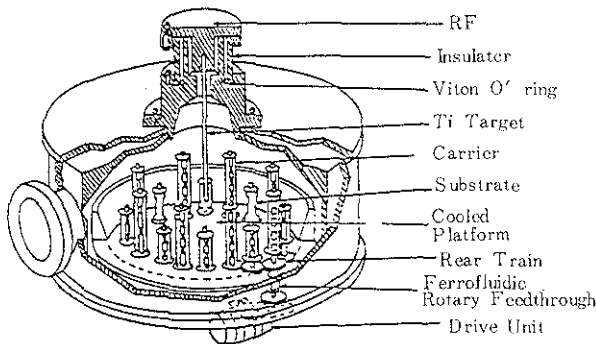


Fig. 4. The Dowty hot rod system layout

나. Ti Abar 사

Ti Abar사는 영국 UKAEA Harwell의 Sputter Ion Plating기술을 허가받아 장비를 제작하고 있다.

이 기술에 대해서는 1977년 Coad와 Dugdale에 의해 처음으로 소개되었는데,^{8,9)} 최근 Newberry Doggett와 Jacobs등에 의해 세부적 기술개발이 이루어지고 있다.¹⁰⁾ Sputter Ion Plating방법은 다른 방법과 달리 비교적 높은 압력 즉, 10-30m Torr에서 증착이 이루어지므로 Diffusion pump 혹은 Turbomolecular Pump와 같은 고진공 Pumping장치없이 Roughing Pump만으로도 압력을 유지할 수 있다. 따라서 Pumping 장치부가 간단하다는 특징을 가지고 있다. 증착시에는 양극을 피처리물보다 약간 높게 양 전위를 걸어주기 때문에 시트의 Sputter Cleaning 효과를 피할 수 있으며, 또한 Target를 접지전위(Earth Potential)로 구성하기 때문에 구조가 간단하다.

증착속도는 TIN의 경우 1um/hr 정도로서 타방법보다 매우 느린편이다. 그러나 피처리물을 회전시키지 않아도 균일하게 증착할 수 있는 Throwing Power에 장점을 갖고 있다. 용기의 크기는 높이 1m 직경 0.6m이며 Titanium Target는 용기벽에 나란히 설치하고 있다. Sputter Ion Plating장치의 개략도를 Fig.5에 나타내었다.

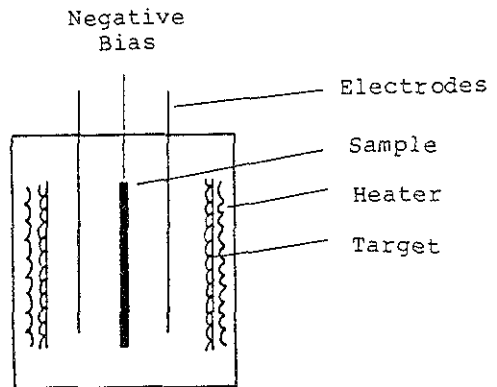


Fig. 5. The sputter ion plating system layout

다. Leybold Heraeus 사

서독의 Leybold Heraeus사는 Fig.6에 나타낸바와 같이 2개의 평면 Magnetron Target를 수직으로 대면시킨 Sputtering식 장치를 개발하였다. 이 장치는 처리시간을 40-60분 정도로 단축시킨 모델로서 증

작시 기판온도는 300-500 C로 유지시키며, 2 개의 Target사이에 위치한 시료에 Bias전압을 걸어주어 이온 충격으로서 가열시키고 있다. 냉·온 증착방식(Cold & Hot Mode)은 음극 Target에서 방출되는 전력 자기장의 세기 및 Gas압력등에 의존하는 Target전방에 제한된 Plasma의 간격 확장정도에 의해 결정되는데 Munz의 시료와 Target간격에 따른 고속 Sputter Target의 이온전류 측정실험에 따르면¹⁾ 2개의 Target간격이 좁아지면 가장 효과적인 결과를 나타내는 것으로 알려져 있다. 이러한 결과는 균일증착층을 얻기 위해서 시료가 제한된 Plasma영역내에 위치하는 것이 바람직하지만 실제로는 높은 압력을 사용함으로써 균일한 증착층을 얻고 있다.

연속식 장치의 경우 먼저 전처리실에서 약 400-500C로 가열한 다음 진공을 파괴하지 않고 Load lock장치에 의해 냉각실로 이동되어 불활성 분위기에서 약 200C까지 냉각시키게 된다. 이와같이 연속 3진공실(3 Chamber In-Line) 장치의 상세한 제원은 표 2.에 수록하였다.

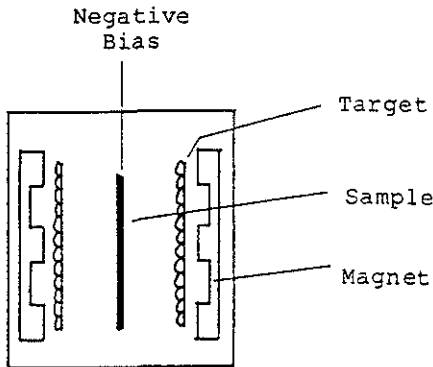


Fig. 6. The double magnetron system layout

3. 결 언

국내 도금업체에서 점차 관심이 고조되고 있는 특수처리 및 원가절감, 품질향상의 한 방법으로 도입되고 있는 이온도금은 기존의 습식도금과는 전혀 다른 원리로 이루어지는 도금이므로 이온도금원리 및 도금설비에 대한 충분한 지식을 갖고 장비를 갖추어야 할 것이다.

현재까지 국내 도금설비 제조업체가 구미 및 일본에 의존하여 도금설비의 국내 보급을 하였던 바와는 달리, 건식도금설비는 세계적인 진공기기업체에서 주로 다루고 있다. 국내에서도 진공장비업체들과 더불어 고가 진공도금 장비의 국산화가 추진되어 앞으로 건식도금장비에 대한 장비제작과 Software에 대한 국내 기반구축에 심혈을 기울여야 할 것이다.

4. 참 고 문 헌

1. D. M. Mattox : J. Appl. Phys., 34, 2493 (1963)
2. E. Moll, H. Daxinger : US Patent, 4, 197, 175 (1980)
3. G. A. Baum : Daw Chemical Co. Report, RFP-686 UC-25, Colorado (1967)
4. C. T. Wan : J. Vac. Sci. Tech., 8, 899 (1971)
5. H. Wroe : UK Patent 2, 972, 695 (1961)
6. D. A. Rutherford : Design Engineering, June (1984)
7. R. G. Duckworth : Thin Solid Films, 73, 275 (1980)
8. R. A. Dugdale : Thin Solid Films, 45, 541 (1977)
9. J. P. Coad, R. A. Dugdale : Wire Industry, 44, 771 (1977)
10. R. B. Newberry, A. G. Dogget, J. H. Jacobs : Processings of the 1st Conference on Materials Engineering, Leeds; July (1984)
11. W. D. Munz, D. Hoffmann, K. Harting : Thin Solid Films, 96, 79 (1982)