

플라즈마 이온주입

전 중 환

Plasma Source Ion Implantation

J. H. Jun



전중환/포항산업과학연
구원 금속·코팅재료 연
구팀/1960년생/PVD,
CVD, PSII

1. 서 론

재료의 표면에 이온을 주입함으로써 표면의 화학상태를 변화시키는 기술은 재료표면의 내마모성, 내식성, 피로특성, 마찰특성 등을 향상시키는데 큰 효과를 나타내며, 전기적 특성이나 광학적 특성을 변화시키는 데에도 널리 활용되고 있다. 이온주입이란 전기장을 이용하여 이온들이 높은 운동에너지를 갖도록 가속시켜서 고체상태인 재료의 표면에 충돌하여 주입되는 기술이다. 이온주입은 열역학적 평형상태에서 일어나는 과정이 아니므로 침탄이나 질화 등의 기술과는 달리 열역학적으로 성립되지 않는 새로운 성분의 표면층을 형성할 수도 있으므로, 용도에 따라 표면맞춤(surface tailoring)이 가능한 특징이 있다.

이온주입을 이용한 재료의 표면특성향상에 대한 많은 연구를 통해서 그 응용 가능성이 확인된 바 있지만, 실제로 이온주입을 이용한 재료의 표면개질기술이 실용화된 분야는 반도체 제조공정 분야를 제외하고, 그리 넓지 못하다. 이온주입기술의 범용성을 제한하는 가장 큰 원인은 다른 표면개질기술에 비해서 제조비용이 높다는 것이다. 제조비용이 높은 원인은 이온주입 설비와 공정의 두가지 측면으로 나누어 생각할 수 있다. 이온주입장치는 기본적으로 이온발생원과 가속장치, 그리고 고진공장치를 갖추어야 하며, 이온빔의 구경을 크게 하고 가속전압을 높일수록 설비제작 비용은

크게 높아진다. 특히 대부분의 이온주입장치들은 실리콘웨이퍼를 가공하는 반도체 제조공정에 맞도록 개발되고 설계되어 있으며, 금속학적인 응용분야에 사용되는 이온주입장치들도 이러한 기본구성에서 크게 벗어나지 못하고 있다. 공정측면에서 볼 때에는 3차원 형상을 갖는 재료의 이온주입이 제조비용을 상승시키는 요인이 된다. 이온빔을 이용한 이온주입기술은 직선적인 공정(line-of-sight process)이므로 3차원 표면형상을 처리하려면, 소재의 표면형상에 따라서 여러개의 이온빔을 설치하거나 이온빔을 고정시키고 소재를 여러 각도로 회전시켜야 한다. 여러개의 이온빔을 설치하는 것은 제작비용을 상승시키며, 소재를 회전시키는 것은 공정제어를 어렵게 할 뿐만아니라 처리시간이 길어지게 되므로 제조비용의 상승을 초래한다.

이와 같은 이온빔주입(Ion Beam Ion Implantation: IBII) 기술의 한계를 극복할 수 있는 기술이 플라즈마 이온주입(Plasma Source Ion Implantation: PSII)이다. PSII는 IBII와는 달리 별도의 이온 발생원과 가속장치를 사용하지 않는 반면, 주입하고자 하는 물질을 기체상태로 도입하고 플라즈마를 형성시킨 후, 처리하고자 하는 소재에 고전압의 바이어스를 인가함으로써 플라즈마 중의 양이온들이 소재의 표면에 충돌/주입되도록 하는 것이다. 소재주위에는 plasma sheath가 형성되며 이온들은 소재의 모든 표면에 입사/충돌을 일으키게 된다^{1,2)}.

PSII기술은 IBII기술이 갖는 중요한 문제점 또는

제한점들을 극복할 수 있다고 생각된다. PSII는 처리할 소재를 마스크(masking)하거나 회전시킬 필요없이 plasma sheath의 크기만을 제어하여 소재표면에 균일한 이온주입층을 형성시킬 수 있으므로 처리속도를 크게 향상시킬 수 있다. 또한 소재의 표면형상 뿐만 아니라 크기에 대한 제한도 훨씬 적다. 이러한 사실은 이온주입기술의 응용가능분야를 근본적으로 확대시키는 효과를 갖는다. 즉, 소규모의 평판 또는 단순한 형태를 갖는 소재의 표면개질에서 벗어나 복잡한 형상을 갖는 대규모 시편의 표면개질에까지 그 응용범위를 넓힐 수 있게 되는 것이다. 작은 소재를 처리하는 경우에도 동시에 여러 개의 소재를 처리할 수 있으므로 그 생산성이 혁신적으로 향상된다.

PSII기술은 1980년대 중반에 J. R. Conrad에 의해서 개발된 이래 Los Alamos National Lab. 등을 중심으로 많은 발전을 거듭해서 1996년에 미국에서 상용화가 시작되었다. 현재 활발하게 응용이 진행되고 있는 분야는 질소, 탄소 등의 주입을 통한 표면경화, 내마모성향상, 피로수명향상 등의 기계·금속적 응용 분야이다. 또한 반도체 제조공정에서 IBII를 대체하기 위한 연구도 활발히 이루어지고 있다.

본 논문에서는 PSII의 원리와 요소기술을 설명하고, PSII장치의 구성요소를 시스템제작 관점에서 살펴본 후, PSII의 응용분야를 실제 실험결과와 함께 소개하고자 한다.

2. PSII의 원리

3차원 형상의 소재를 처리하는데 있어서 PSII와 IBII의 공정비교를 Fig. 1에 나타내었다. Fig. 1(a)의 IBII공정에서는 처리하고자 하는 소재를 진공로에 장입하고 소재를 3차원으로 회전시킬 수 있는 치구를 장착한다. 소재의 회전방법은 소재의 표면형상과 이온주입하고자 하는 표면적에 따라 달라지므로, 소재의 표면형상이 다르면 그에 적합한 형태로 회전방법 및 치구를 변경해서 적용해야 한다. 진공로 벽에 부착된 이온빔발생원으로부터 이온빔을 가속해서 진공로 안으로 도입하고 beam raster를 이용해서 소재의 표면에 이온빔을 조사(照射)한다. 반면에, Fig. 1(b)에 나타난 PSII공정에서는 처리하고자 하는 소재를 진공로에 장입하고 20kV 이상의 고전압을 펄스 DC 형태로 인가한다. 물론 소재를 회전시키는 특별한 치구는 필요없다. 그리고 주입하고자 하는 반응가스를 도입하고 플라즈마를 발생시킨다. 소재 주위에는 인가된 고전압 펄스로 인하여 plasma sheath가 형성되며, 플

라즈마 중의 양이온들은 sheath 경계에 수직하는 방향으로 소재표면에 입사(入射)한다. 소재표면에 입사된 이온들은 높은 운동에너지로 소재표면을 뚫고 침투하게 되어 이온주입이 일어나게 되며, 소재표면에 개질층을 형성한다. 소재표면에 인가하는 전압의 크기를 조절해서 이온의 침투깊이를 제어할 수 있으며, 플라즈마밀도를 조절함으로써 단위시간당 이온의 주입량(ion dose)을 제어할 수 있다.

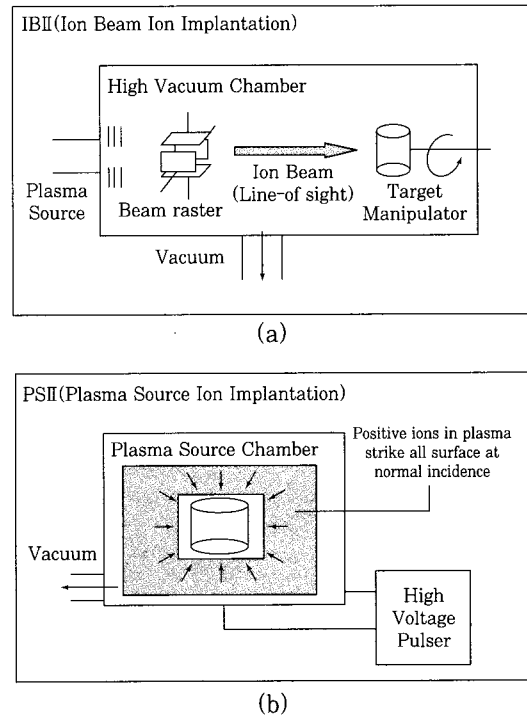


Fig. 1 Comparison of ion beam implantation and plasma source ion implantation.

PSII에서 플라즈마발생원으로 이용하는 방법은 크게 세가지이다³⁾. 하나는 전자총들을 이용하는 방법으로서 Thoriated-W이나 LaB₆ 등의 필라멘트를 가열해서 발생하는 열전자방출을 이용하여 반응가스를 이온화시켜서 플라즈마를 발생시키는 것이다. 방출된 전자들은 100V 내외의 DC 전압으로 가속되어 이온화원으로 이용되며, 열전자의 이동경로를 길게 해서 수명을 연장시킬 목적으로 진공로 벽에 자석을 설치하여 자기장을 형성시키는 것이 바람직하다. 대개 10⁻⁴ Torr 영역에서 PSII를 실시할 수 있다. 두번째는 글로우방전(glow discharge) 플라즈마를 이용하는 방법으로서 반응가스와 불활성가스를 함께 도입하여 1~50mTorr 수준으로 압력을 유지하면서 고전압이 인가된 소재표면에서 발생하는 2차 전자의 운동에너지를 이온화원으로 이용하는 것이다. 이 경우에는

ionization cross section은 작지만 가스압력이 높으므로 충분한 이온화를 얻을 수 있다. 세번째 방법은 고주파발생장치를 이용하여 플라즈마를 발생시키고 유지하는 것이다. 수백 kHz 영역에서 부터 RF(13.56MHz)까지의 주파수를 활용할 수 있다.

이러한 플라즈마 발생방법의 장단점을 비교해 보면, 필라멘트방식은 장치제작비용이 크지 않고 높은 밀도의 플라즈마를 쉽게 발생시킬 수 있다는 장점이 있으나, 전력소모가 크다는 단점이 있다. 저주파 RF방식은 비교적 고가의 장치제작비용이 요구되기는 하지만, 필라멘트방식에 비하여 전력소모가 월등히 적으므로 유지비용이 저렴하다. PSII공정에서 필요로 하는 플라즈마밀도는 처리면적과 처리시간 등에 따라 달라지지만, 대개 $10^8 \sim 10^{12}/\text{cm}^3$ 범위이다.

이온주입에 있어서 주입량과 깊이를 결정하는 요인은 소재의 표면특성과 이온들의 운동에너지 외에 이온의 입사각도를 생각할 수 있다. 이온들이 소재표면에 수직에 가깝게 입사할수록 이온주입 효율이 높아진다. 이러한 현상은 다음 식으로 나타낼 수 있다.

$$D = \Phi_0 \cos \theta$$

여기에서 D는 이온주입량(retained dose), Φ_0 는 수직으로 입사한 유속, 그리고 θ 는 실제 입사각도를 의미한다. 그리고 이온빔에 의해 소재의 스퍼터링이 일어나는 경우에는 다음과 같은 관계식이 성립한다.

$$D = N \frac{R_p}{S} \cos^{8/3} \theta$$

여기에서 N 은 소재의 원자량, R_p 는 projected ion range, S는 스퍼터링율(sputtering yield)를 나타낸다.

따라서 IBII에서는 소재의 표면이 평면이 아닐 경우에 마스크를 이용해서 가능한 한 수직에 가까운 입사각도를 유지하도록 해야 한다(Fig. 2(a)). 반면 PSII에서는 plasma sheath에 수직하도록 이온들이 입사하므로 마스크가 필요없다(Fig. 2(b))⁴⁾. 그러나 소재의 표면형상이 복잡할 경우에는 PSII에서도 이온들의 수직입사를 유도하는 것이 쉽지 않다. 작고 복잡한 형상의 소재표면에 균일하게 플라즈마 이온주입을 실시하기 위해서는 plasma sheath의 크기를 가능한 한 작게 유지해야 한다.

PSII에 의해서 형성되는 이온주입층의 깊이는 1차적으로 이온의 가속전압에 의해서 결정되며, 소재와 주입이온의 종류, 이온주입량 등에 의해서도 영향을 받는다. 그러나 소재를 별도로 가열하지 않고 PSII를 실

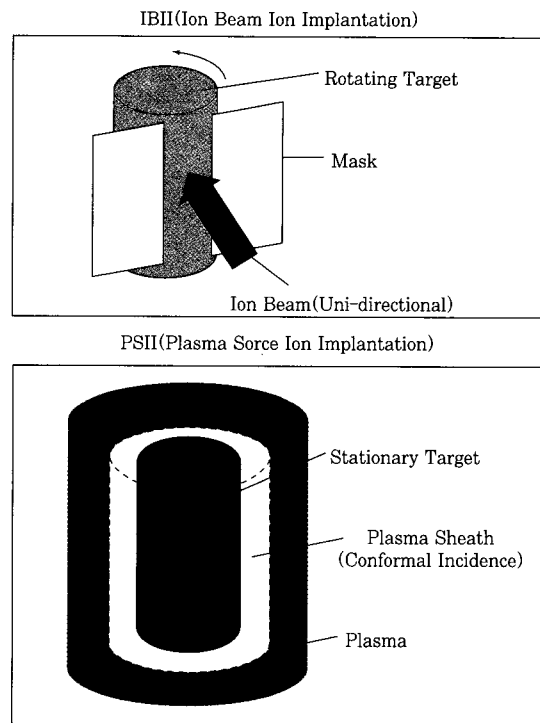


Fig. 2 Comparison of IBII and PSII with respect to retained-dose problem.

시하는 경우에는 대개 3000Å을 넘지 않는다. 용도에 따라 이보다 깊은 이온주입층이 요구되는 경우에는 소재를 가열할 필요가 있다. 소재를 적절한 온도로 가열하여 주입된 이온들의 확산을 활발하게 함으로써 침투깊이를 증대시킬 수 있다. 그러나 PSII과정 중에도 이온 충돌로 인하여 소재의 온도가 상승하므로 이러한 효과도 함께 고려하여 소재의 온도를 제어해야 할 것이다.

3. PSII 장치의 설계

용도에 맞는 PSII장치를 설계, 제작하기 위해서 고려해야 할 사항과 기본적인 설계방안을 단계별로 나누어 설명하면 다음과 같다. 첫번째 단계는 제품과 응용분야를 고려하는 것이다. 먼저 처리해야 할 소재의 크기에 따라서 진공조의 크기가 결정된다. Plasma sheath의 크기에 따라서 달라지겠지만, 원활한 플라즈마의 형성을 위해서는 대개 소재의 크기보다 모든 방향으로 20cm 이상의 여유가 있어야 한다. 그리고 소재온도의 상한선이 있을 경우에는 PSII공정 중 이온충돌로 인한 소재의 온도상승을 고려하여 적절한 냉각장치를 부착할 필요가 있다. 한편 이온주입층의 깊이를 증대시키고자 할 경우에는 적절한 가열장치를 장착할 수도 있다. 소재가 전기절연체일 경우에는 plasma sheath의 형성을 위해서 전도성 물질로 된

그물모양의 스크린이 필요하다. 소재의 종류와 크기가 다양할 경우에는 진공로 설계시, 그 다양성을 고려해야 한다.

두번째 단계로는 원하는 처리속도를 토대로 고전압 공급장치의 용량을 결정하는 것이 필요하다. 이를 위해서는 처리속도 외에도 이온주입량, 가속전압, 처리할 소재의 표면적 등을 결정해야 한다. 예를 들어 소재 표면의 내마모성, 피로특성 등 기계적성질을 향상시키기 위해서 질소이온을 주입하는 경우에는 $2\sim 3 \times 10^{17}/\text{cm}^3$ 정도의 이온주입량이 요구된다. 소재 및 주입이온의 종류에 따라 다르지만, $1000\sim 3000\text{\AA}$ 정도의 이온주입층을 얻기 위해서는 대개의 경우 50kV 정도의 가속전압이 필요하다. 이온주입시 소요되는 전류는 다음과 같은 식으로 표현할 수 있다.

$$I = 4.7 \times 10^{-4} A (1 + \delta) V^{1/2} \left(\frac{N}{t}\right)^{2/3}$$

여기에서 δ 은 소재표면의 2차전자 발생계수, N 은 이온주입량($/\text{cm}^3$), V 는 가속전압(kV), A 는 처리해야 할 표면적(cm^2), 그리고 t 는 처리시간(sec)이다. 2차전자 발생계수는 소재의 종류, 표면에 충돌하는 이온의 종류와 가속전압 등에 따라 달라지므로, 원하는 공정조건에서 사용하는 소재의 2차전자 발생계수를 적용해야 한다.

세번째 단계는 전원의 펄스특성을 결정하여 용도에 적합한 펄스발생장치를 선정하는 것이다. 여기에서는 plasma sheath의 크기를 좌우하는 펄스의 피크전류와 주파수가 중요한 요인이 된다. 앞서서도 설명한 바와 같이 plasma sheath의 크기가 작을수록 이온의 수직입사 경향이 증대되어 효과적이다. 그러나 평판이나 구, 원통 등의 형상을 갖는 소재의 경우에는 plasma sheath의 크기가 어느 정도 크더라도 수직입사가 용이하게 이루어지므로, 피크전류가 작은 전원을 이용해서 제작비용을 절감할 수 있다. 네번째로는 용도에 적합한 플라즈마밀도를 산정해야 한다. 대개의 경우 $10^8\sim 10^{12}/\text{cm}^3$ 정도의 플라즈마밀도가 요구된다.

이상과 같은 과정을 통해서 기본적인 설계변수를 결정하게 되면 구체적으로 진공로의 크기와 pulse modulator 및 플라즈마발생원의 형식을 결정하게 된다. 첫단계에서도 언급한 바와 같이 진공로는 소재를 수용해야 할 뿐만아니라 plasma sheath와 플라즈마발생을 위한 충분한 공간을 확보할 수 있는 크기로 제작해야 한다. 따라서 소재의 크기 외에도 앞단계에서 결정한 plasma sheath의 크기를 고려하여 진공로의

사양을 결정한다. Pulse modulator의 형식 역시 plasma sheath와 피크전류의 크기에 따라 결정된다. 피크전류가 작고 plasma sheath의 크기 또한 중요하지 않은 경우에는 IGBT를 이용한 pulse modulator를 이용하면 충분하다. 그러나 10cm 이하의 작은 sheath와 50A 이상의 높은 피크전류를 필요로 하는 경우에는 thyatron 방식의 pulse modulator를 사용해야 한다. 플라즈마발생원은 필라멘트형식이나 RF형식 중에서 어느것을 적용하더라도 충분한 플라즈마밀도를 얻을 수 있으므로, 초기 투자비와 조업비용에 대한 고려가 선택의 기준이 될 것이다.

PSII장치의 공정변수들은 자동제어하는 것이 바람직하다. 특히 펄스전원의 실제 전압/전류 출력파형을 oscilloscope를 이용해서 관찰하고 제어하는 것이 필요하다. 또한 수십 kV 의 고전압을 이용하여야 하므로 작업 중 불가피하게 발생하는 아크현상의 억제대책이 필요하다. PSII 장치의 개략적인 구성도를 Fig. 3에 나타내었다.

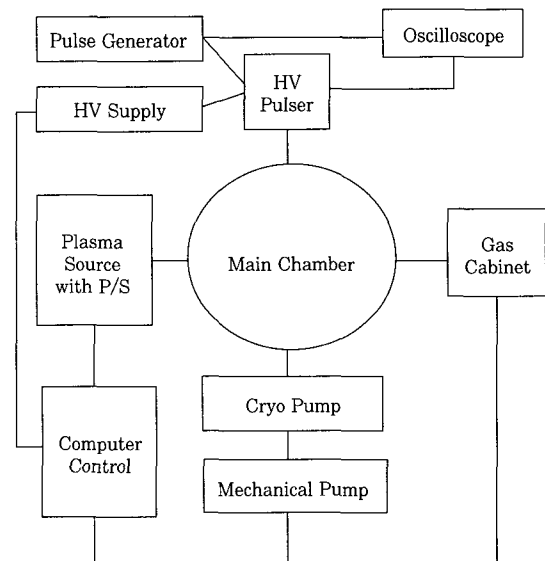


Fig. 3 Schematic diagram of typical PSII system.

4. PSII의 산업적응용

PSII기술은 그 역사가 10여년에 불과하여 아직 폭넓은 응용이 이루어지고 있지는 못하다. PSII기술이 1차적으로 활용되기 시작한 것은 소재의 내마모성을 향상시켜서 사용수명을 연장하는 응용분야이다. 이 분야는 경질크롬도금, 질화 및 침탄, PVD 및 CVD와 같은 기술들과의 경쟁이 불가피하다. Table 1에 이

분야에서의 PSII와 경쟁기술들의 특징을 비교하여 나타내었다.

PSII를 이용한 소재표면의 경화기술은 그 품질특성 측면에서 Cr, Ni 등의 습식도금제품들 보다 월등하여 PVD, CVD 등에 의한 초경박막과 경쟁할 만한 수준이다. 또한 제조비용을 비교해 보면, 질소의 PSII를 이용한 표면경화기술은 TiN 또는 (Ti,Al)N의 PVD 기술에 비해서 1/3 정도의 수준이라고 알려져 있다. 그뿐 아니라 PVD가 근본적으로 안고 있는 문제점인 소재의 형상 및 크기에 대한 제약을 PSII는 훌륭히 극복할 수 있다. 이러한 관점에서 볼 때, 초경박막 분

야에서 PSII의 역할은 향후 크게 증대될 것으로 기대된다. PSII를 실제로 적용하여 제품의 수명을 향상시킨 예를 Table 2에 정리하였다.

국내에서 PSII를 응용할 수 있는 분야로는 우선 경질크롬도금의 대체⁵⁾를 생각할 수 있다. 산업분야 전반에 걸쳐서 널리 사용되고 있는 경질크롬도금은 6가 크롬산에 대한 폐기물 처리규제가 날로 엄격해지고, 선진국에서 그 사용 자체를 규제하기 시작하면서 대체기술의 개발이 불가피해지고 있다. PVD, CVD 등을 이용한 초경박막이 그 대체기술로서 대두되고 있기는 하지만, roll과 같은 대형부품이나 복잡한 형상을 갖는

Table 1. Comparison of various techniques in preparing hard surface layers.

	Microhardness (Vickers)	Coating thickness(μm)	Thermal stability(°C)	Adhesion
PVD				(on high-speed tool steel)
TiN	2200	2 to 4	550	≥17,000 psi
(Ti,Al)N	2800	2 to 4	750	≥17,000 psi
CVD				(on cemented carbide)
TiN	2100	3 to 5	550	≥24,000 psi
TiCN/TiN/Al ₂ O ₃	2300	10	1000	≥24,000 psi
PSII				
N-주입 Cr도금	1800	0.1	1050	N/A
C-주입 Cr도금	2150	0.1	1810	N/A
Electroplating				(on steel)
Hard Cr	1100	0.25 to 520	500	10,000 psi
Ni	600	2.5 to 125	1350	10,000 psi

Table 2. Examples of ion implantation in wear resistant applications.

Tool/Part	Material	Application	Result
Compacting punches	S7	Compacting bronze powder	6× fatigue life
Compacting punches/dies	D2	Compounding filled epoxy	2.5× life
Draw die	D2	Drawing 0.85mm STS	15× life
Draw punches	Chrome	Ironing 3mm 4140 steel	5× life
Stamping dies	Carbide	0.4mm bronze connectors	3× life
Mold cavities	Chrome	Injection molding polyester	21× life
Notching punches	WKE45	Cutting keyways in STS 316	3× life
Pierce punches	M2	1/2in hot-rolled steel	12× life
Pilot pins	M2	0.05mm STS 302	5× life
Plastic calibrator die	420SS	Shaping vinyl siding	2× life
Finishing roll	H13	Finish rolling Cu	>3× life
Bearings	STS 440C	Bearings	1.4× life
Punch/die	WC-Co	Sheet steel lamination	6× life
Taps	Cr plate	Tapping cold-rolled steel	8× life

금형 등에는 그 적용에 한계가 있다. 이러한 분야에 응용이 가능한 기술이 PSII라고 할 수 있다. 경질크롬도금의 대체기술로서 PSII를 응용하는 방법은, 크롬도금을 실시하되 추가로 질소 또는 탄소를 PSII로 주입하여 경질크롬도금의 수명을 향상시킴으로써 크롬도금 헛수를 줄이거나, 크롬도금을 배제하고 순수하게 PSII 처리만을 실시하는 두가지 방법으로 나누어 생각할 수 있다.

PSII의 경질크롬도금 대체가능성을 조사하기 위해서 Table 3과 같은 조건으로 시편을 준비하였다. Fig. 4와 5는 각 시편에 대하여 fretting wear test를 실시한 후 마모 흔적을 SEM으로 관찰한 것이다. 그림에서 알 수 있듯이 D-2강에 질소 PSII만을 처리한 시편이 경질크롬도금을 실시한 시편과 동등한 수준의 내마모성을 나타내었으며, 크롬도금 전후에 질소 PSII를 실시한 경우에는 거의 마모흔적을 관찰할 수 없는 우수한 내마모성을 갖는 것을 확인하였다. S-7강의 경우에는 PSII의 효과가 더욱 뚜렷하여 질소 PSII만을 처리한 시편이 경질크롬도금을 실시한 시편보다 월등한 내마모성을 보여주었다. 크롬도금 전 또는 전후에 질소 PSII를 실시한 시편은 거의 마모흔적을 관찰할 수 없는 우수한 내마모성을 나타내었다. 실제 산업현장에 적용하기 위해서는 보다 체계적이고 광범위한 연구가 필요하겠지만, 기본적으로 PSII기술을 이용해서 우수한 내마모성을 얻을 수 있으며, 특히

크롬도금과 병행하여 사용할 경우에는 크롬도금층의 사용수명을 크게 향상시킬 수 있을 것으로 기대된다.

탄소의 PSII는 메탄(CH₄)이나 아세틸렌(C₂H₂)가스를 이용하며, 대부분의 철강재료에 대해서 높은 표면경화효과를 나타낸다. 탄소는 질소와는 달리 표면에 증착되려는 경향이 강하므로, 공정 조건을 적절히 제어함으로써 탄소를 표면에 증착시킬 수도 있고 표면층에 침투시킬 수도 있다. 이온들의 입사에너지가 낮을 때에는 탄소의 증착이 이루어지고, 에너지가 높아질수록 증착과 주입이 함께 일어나다가 높은 에너지에서는 탄소의 주입현상이 지배적으로 일어난다. 이를 응용해서 DLC(diamond-like carbon) 박막을 제조하는 것도 가능하다⁶⁾.

한편 PSII는 PVD source와 조합하여 ion assisted deposition(IAD) 기술로서 응용할 수도 있다⁷⁾. IBED에 PSII를 응용하게 되면 이온주입에서와 마찬가지로 line-of-sight process인 이온빔의 한계를 극복하고 3차원적인 이온충돌효과를 얻을 수 있다. 이 경우에는 PVD source로서도 line-of-sight process인 전자빔증발원(EB evaporation source) 보다는 스퍼터링원(sputtering source)이나 아크증발원(arc evaporation source)을 이용하는 것이 좋은 조합을 이룰 것이다. 이러한 경우에 PVD source로 부터 발생하는 플라즈마를 PSII에서 요구되는 플라즈마발생원으로 병용할 수 있다. PSII에 기초한 IBED의 응용

Table 3. Preparation conditions of PSII and/or Cr-plated specimens.

Surface treatment methods applied	Substrate material: D2 and S7 tool steel coupons					
	#1	#2	#3	#4	#5	#6
Pre-PSII of N ₂ Ion dose = $2 \times 10^{17}/\text{cm}^2$ Filament source = 20V/0.98A Filament bias = 100V/0.46A Acceleration voltage = -25kV/23.1mA Pulse width = 20 μ s N ₂ supply = 11.5sccm/ 5.5×10^{-4} Torr	-	○	-	○	-	○
Electroplating of Cr Coating thickness = 10 μ m	-	-	○	○	○	○
PSII of N ₂ Ion dose = $3 \times 10^{17}/\text{cm}^2$ Filament source = 20V/1.0A Filament bias = 100V/0.48A Acceleration voltage = -25kV/23.5mA Pulse width = 20 μ s N ₂ supply = 11.5sccm/ 5.5×10^{-4} Torr	-	-	-	-	○	○

D2 steel : Fe-1Mo-12Cr-1.5C, S7 steel : Fe-1.4Mo-3.25Cr-0.5C

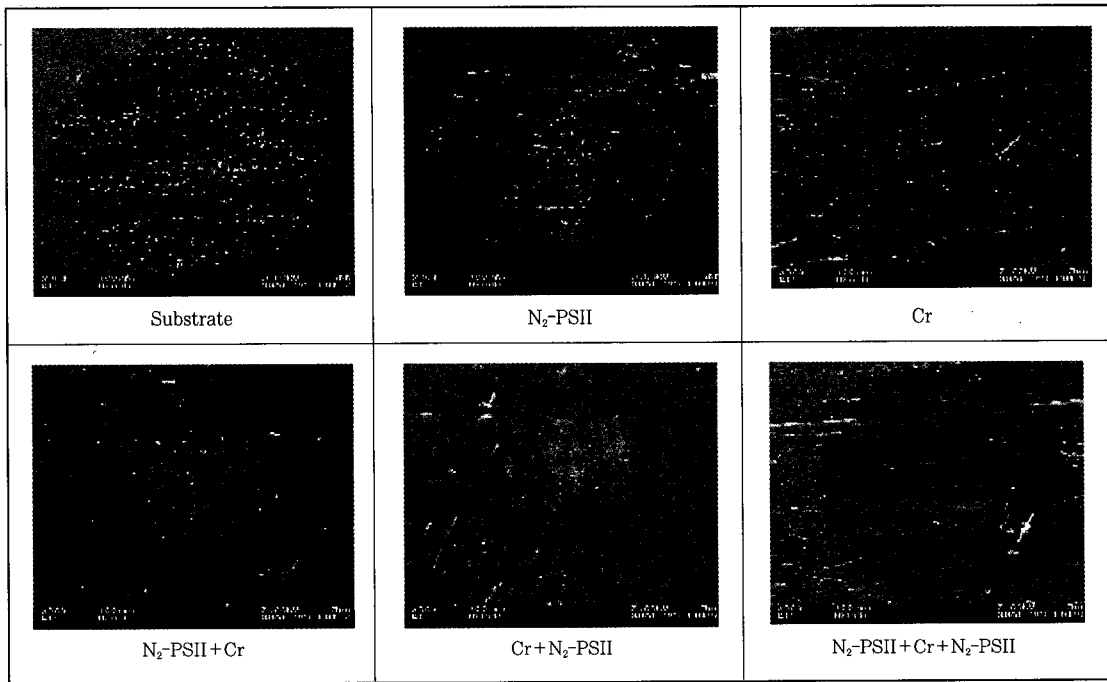


Fig. 4 SEM images showing the fretting wear tracks of D-2 steels with various surface treatments.

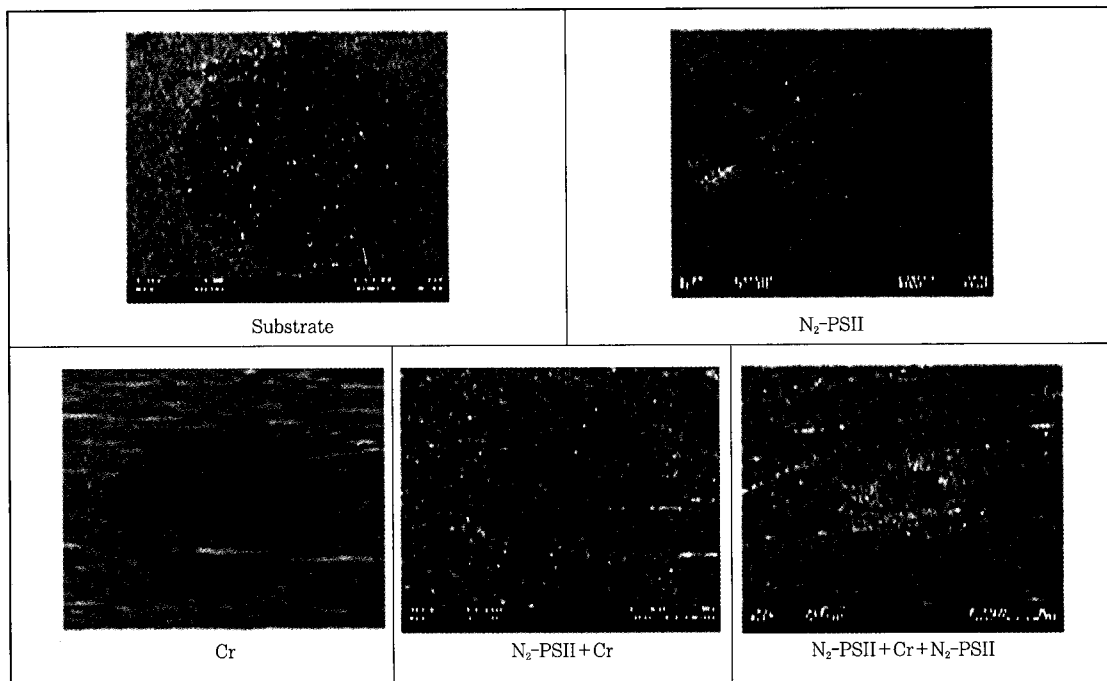


Fig. 5 SEM images showing the fretting wear tracks of S-7 steels with various surface treatments.

은 W, Pt, Cr, TiN, TaN, CrN, Cr-Mo 박막의 제조 등을 들 수 있다⁸⁾. 이러한 피막들은 대단히 우수한 밀착성과 기계적특성을 나타내는 것으로 보고되고 있

다. 앞으로 극대화된 이온충돌효과를 필요로 하는 cubic-BN 등의 박막 증착에 PSII를 응용한 IAD 기술을 활용할 수 있을 것으로 기대된다.

5. 결 론

플라즈마 이온주입은 이온빔 대신 플라즈마를 이용해서 재료의 표면에 이온을 주입하는 기술로서, 표면 개질에 필요한 주입량과 주입깊이를 효과적으로 얻을 수 있다. 종래의 이온주입기술인 이온빔의 문제점으로 지적되고 있는 line-of-sight process의 한계를 극복할 수 있는 3차원적인 공정이므로 처리해야 할 표면적이 넓고 표면형상이 복잡한 경우에도 쉽게 적용이 가능하다는 장점을 갖는다. 플라즈마 이온주입은 질소이온주입을 중심으로 표면경화 및 내마모성향상을 목적으로 상업적응용이 시작되고 있으며, 경쟁기술인 PVD 및 CVD 기술에 비해서 처리비용이 훨씬 저렴하고 소재의 형상 및 크기에 대한 수용범위가 월등히 크다는 점에서 향후 응용분야의 확대가 기대된다. 특히 경질크롬도금의 대체기술로서 주목받고 있으며, 1차적으로 크롬도금제품의 수명향상 목적으로, 그리고 궁극적으로는 Cr-free PSII 기술의 개발 및 적용이 필요하다. 또한 습식도금법과는 달리 공해발생요인이 없는 환경친화적 공정이라는 점에서 발전 가능성이 대단히 크다고 판단된다.

참 고 문 헌

1. J. R. Conrad, Materials Science and Engineering, V.A116(1989), p.197.
2. J. R. Conrad et al., Surf. & Coat. Technol., V.36(1988), p.927.
3. S. M. Malik et al., J. Vac. Sci. Technol., V.B12(1994), p.843.
4. J. R. Conrad et al., International Journal of Environmentally Conscious Design and Manufacturing, V.2(1993), p.61.
5. A. Chen et al., Surf. & Coat. Technol., V.82(1996), p.305.
6. L. Xie et al., Proc. Mater. Res. Soc. Symp., V.4(1992), p.427.
7. J. R. Conrad et al., J. Vac. Sci. Technol., V.A8(1990), p.3146.
8. M. B. Abuzriba et al., Ph. D. Thesis, University of Wisconsin-Madison(1993).