



<연구논문>

ISSN 1225-8024(Print)
ISSN 2288-8403(Online)

한국표면공학회지
J. Korean Inst. Surf. Eng.
Vol. 49, No. 3, 2016.

<http://dx.doi.org/10.5695/JKISE.2016.49.3.307>

음극 아크 증착으로 제조된 AlTiN 박막의 특성

양지훈*, 김성환, 송민아, 정재훈, 정재인

포항산업과학연구원 소재이용연구그룹

Properties of AlTiN Films Deposited by Cathodic Arc Deposition

Ji-Hoon Yang*, Sung-Hwan Kim, Min-A Song, Jae-Hun Jung, Jae-In Jeong

Materials Solution Research Group, Research Institute of Industrial Science & Technology,
Pohang 37673, Korea

(Received June 24, 2016 ; revised June 28, 2016 ; accepted June 29, 2016)

Abstract

The properties of AlTiN films by a cathodic arc deposition process have been studied. Oblique angle deposition has been applied to deposit AlTiN films. AlTiN films have been deposited on stainless steel (SUS304) and cemented carbide (WC) at a substrate temperature of 500°C. AlTiN films were analyzed by scanning electron microscopy, glow-discharge light spectroscopy, micro-vickers hardness, and nanoindenter. When applying a current of 50 A to the cathodic arc source, it showed that the density of macroparticle of AlTiN films was 5 lower than other deposition conditions. With the increase of the bias voltage applied to the substrate up to -150 V, the density of macroparticle was decreased. The change of the N₂ flow rate during coating process made no influence on the film properties. For the multi-layered films, the film prepared at oblique angle of 60° showed the highest hardness of 28 GPa and H³/E² index of 0.18. AlTiN films have been shown a good oxidation resistance up to 800°C.

Keywords : AlTiN films, Cathodic arc deposition, Oblique angle deposition, Physical vapor deposition, Macroparticle

1. 서 론

20세기 말부터 수송기기의 연비 향상과 환경오염 방지를 위해서 중량은 가볍고 기계적 특성이 우수한 구조용 신소재들이 개발되어 다양한 분야에 적용되고 있다. 이러한 구조용 신소재는 가공이 어려워 가공용 공구의 수명을 현저히 저하시키는 난삭재가 대부분이어서 공구의 수명을 향상시키기 위한 새로운 공구 소재와 코팅층의 개발이 요구되고 있다. 앞서 언급한 바와 같이 절삭공구의 수명을 향상시키는 방법은 크게 두 가지로 나눌 수 있는데

첫 번째 방법이 물리적인 특성이 우수한 공구 소재를 개발하고 절삭성능을 최적화하기 위한 디자인을 적용하는 것이고, 두 번째 방법은 공구 표면에 고경질막을 코팅하여 공구 소재의 성능을 높이고 가혹한 사용 환경에서 가공 특성을 유지시킬 수 있는 코팅층을 개발하는 것이다. 공구 소재의 성능향상에 한계가 있기 때문에 경질 피막을 공구에 코팅하는 것은 필수공정이 되었으며 절삭공구의 수명을 향상하기 위한 경제적인 방법이기도 하다. TiN, TiAlN 등을 비롯한 다양한 코팅층이 개발되어 사용되어 왔으며 최근 내산화성 향상을 위해 Al의 함량을 높인 AlTiN 박막이 개발되어 공구에 적용되고 있다[1-3].

절삭공구에 경질 피막을 코팅하기 위한 방법에는 화학기상증착(chemical vapor deposition; CVD)과

*Corresponding Author : Ji-Hoon Yang

Materials Solution Research Group, Research Institute of Industrial Science & Technology
Tel : +82-54-279-6432 ; Fax : +82-54-279-6988
E-mail : jhyang72@rist.re.kr

물리기상증착(physical vapor deposition; PVD)이 대표적이며, 물리기상증착 방법 중 하나인 음극 아크 증착(cathodic arc deposition; CAD)이 최근 경질 피막 코팅에 가장 많이 사용되는 방법이다. 음극 아크 증착 공정은 타 공정에 비해 증착속도가 빠르고 높은 이온화율을 가지고 있기 때문에 반응성 코팅에 유리하고, 박막과 기판의 밀착력이 우수하며 박막의 구조가 치밀하다는 장점을 가지고 있다[4-5]. 하지만 코팅 공정 중 타겟이 국부적으로 용해되어 거대입자가 형성되고 코팅 박막에 증착되어 박막의 특성을 저하시키는 단점[6]을 가지고 있어 이를 해결하기 위한 다양한 연구가 진행 중이다.

빗각증착(oblique angle deposition; OAD)법은 타겟에서 기화된 증기가 기판과 수직하게 입사하는 일반적인 증착과 달리 기판과 비스듬한 각도로 입사하도록 조절하여 박막을 형성하는 방법이다. 이러한 빗각증착은 박막의 형상이나 조직을 제어하기 위한 공정으로 활용되고 있다. 최근에는 기판회전과 각도를 동시에 변화시켜 증착하는 스침각 증착법(glancing angle deposition; GLAD)이 개발되어 복잡하고 다양한 형태의 박막을 제조가 가능해졌다. 이러한 증착 기술은 센서나 태양전지와 같은 여러 분야에 적용되고 있으며[4,7-9], 선행연구에서 경질 코팅에 빗각을 적용하여 물리적 특성이 향상되었다고 보고가 되고 있다[4].

이러한 연구 결과를 바탕으로 본 연구에서는 음극 아크 증착을 이용하여 공정 변수에 따른 AlTiN 박막의 특성을 평가하였다. 특히 음극 아크 증착의 단점인 거대입자의 밀도를 낮추기 위한 공정 도출 그리고 Al 함량이 높은 박막 코팅 시 공정 변수가 내열성에 미치는 영향을 확인하였다. 또한 빗각증착 적용에 의한 박막의 물리적 특성 변화를 분석하였다.

2. 실험방법

AlTiN 박막의 제조는 음극 아크 소스가 장착된 아크 증착 시스템을 이용하였다. 그림 1과 표 1에 각각 본 연구에서 사용한 아크 증착 시스템의 개요도와 증착 조건을 나타내었다. 아크 증착 시스템에는 지름이 120 mm인 음극 아크 소스와 함께 시편의 각도 조절이 가능하고 할로겐램프로 기판을 직접 가열할 수 있는 기판홀더가 구비되어 있다. 기판홀더는 음극 아크 소스와 약 30 cm 거리에 위치해 있다. 타겟 조성은 Al-25at.%Ti와 Al-30at.%Ti 두 가지를 사용하였고, 기판은 크기가 75 × 35 mm² 인 스테인리스 강판(SUS304)과 50 × 20 mm²인 초경합

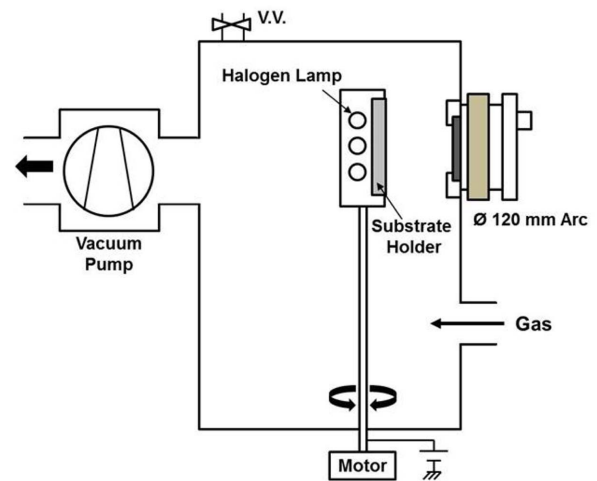


Fig. 1. Schematic diagram of cathodic arc deposition system.

Table. 1. Deposition conditions for AlTiN films by cathodic arc deposition.

Target	Al-25at.%Ti, Al-30at.%Ti
Arc Current	50 ~ 100 A
Coil	2.0 A
Substrate Bias	0 ~ -150 V
Operating pressure	1.0×10^{-2} Torr
Source to sample distance	30 cm
Atmosphere	Ar(80 sccm) + N ₂ (60~180 sccm)
Thickness	3 μm

금(cemented carbide; WC-10 wt.%Co) 등 두 가지를 사용하였다.

기판 표면의 불순물을 제거하기 위하여 아세톤과 에틸알코올로 각각 10분간 초음파 세척을 하였다. 세척이 끝난 기판은 진공용기 안에 있는 기판홀더에 장착 후 $\sim 10^{-6}$ torr이하로 배기한 후에 Ar과 N₂를 진공용기 내에 주입하여 1.0×10^{-2} torr의 압력에서 음극 아크 소스에 50 A의 전류를 인가하고 기판에 -400 V의 직류 전압을 인가하여 5분간 청정을 실시하였다. 본 연구에서 Ar의 유량은 80 sccm으로 고정하였다. 기판 청정이 끝나면 기판에 인가되었던 전압을 낮추고 나머지 조건은 동일하게 유지하여 코팅 공정을 연속적으로 실시하여 AlTiN 박막을 제조하였다. 기판에 인가된 전압은 0 ~ -150 V이었다. 모든 실험은 할로겐램프로 의한 가열 방식을 사용하여 500°C의 기판온도에서 실시하였다.

본 연구에서는 음극 아크 공정의 단점인 박막 표면에 존재하는 거대 입자(macroparticle)의 밀도를 줄이기 위하여 1.0×10^{-2} torr의 압력에서 코팅을 실시하였다. 기판 청정 시 Ar 가스만 사용할 경우, 거

대입자의 밀도가 증가하며, 1.0×10^{-2} torr보다 압력이 낮으면 거대입자의 밀도가 증가한다. 이러한 이유로 본 연구에서는 기판 청정부터 코팅 공정까지 Ar과 N₂의 혼합가스를 사용하여 거대입자를 줄일 수 있었다[9].

빗각공정은 기판이 타겟과 평행하게 마주 본 상태를 기준(0°)으로 30~75°까지 각도를 변화시켰다 [10]. 또한 빗각을 적용하여 다층구조를 갖는 다층 박막을 제조하였다.

그림 2는 다층구조의 개요도를 나타낸 그림이다. 제 1층은 빗각을 이용하고 기판 전압은 인가하지 않고 제조되며 제 2층은 빗각이 적용된 상태에서 기판에 전압을 인가하여 제조된다. 제 1층과 제 2층을 1회 반복하여 총 4층의 구조를 갖는 AlTiN 박막을 제조하였다. 다층 구조의 AlTiN 박막을 제조하기 위한 공정 조건은 빗각 크기에 따른 AlTiN 박막 제조 조건과 동일하게 실시하였다.

본 논문에서 빗각이 적용된 다층구조의 표기의 편의를 위해 ‘각도+ Bias/Bias/Bias/Bias’으로 표현하였으며 Bias는 기판에 인가된 음의 직류 전압을 의미한다. AlTiN 박막의 표면과 단면 형상은 주사전자현미경(scanning electron microscope; SEM, S-4300SE)과 투과전자현미경(transmission electron microscopy; TEM)을 이용하여 관찰하였고, 글로우방전분광기(glow discharge light spectroscopy; GDLS)를 이용하여 박막의 성분을 분석하였다. 경도(hardness)는 초미소경도(micro-vickers hardness: Hv) 분석기와 나노인덴터(nanoindenter)로 측정하였다. 거대입자 밀도는 이미지프로세싱 프로그램으로 계산하여 분율로 나타내었다[11].

코팅 박막의 내산화성 평가는 표 2의 조건으로 수행하였다. 표 2와 같이 $75 \times 35 \text{ mm}^2$ 크기의 스테인리스 강판 위에 Al-30at.%Ti의 조성을 갖는 타겟으로 제조된 AlTiN 박막은 대기로를 이용하여 열

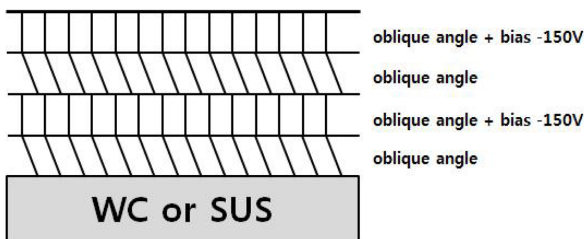


Fig. 2. Schematic diagram of multi-layered structure of AlTiN films.

처리가 실시되었으며, 500~1000°C까지 100°C 단위로 온도를 올려 1시간 동안 열처리 한 후 시편의 무게를 측정하였다. 내산화성 평가를 위한 시편을 제외한 나머지 분석 시편은 Al-25at.%Ti의 조성을 갖는 타겟으로 제조된 AlTiN 박막을 사용하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 공정변수 변화가 거대입자 밀도와 물리적 특성에 미치는 영향

3.1.1. 인가 전류의 영향

음극 아크 소스에 인가되는 전류의 세기 변화에 따른 거대입자의 밀도를 확인하였다. 그림 3은 음극 아크 소스에 인가되는 전류를 50 A에서 100 A까지 10 A 단위로 변화시켜 제조한 AlTiN 박막의 표면과 단면 SEM 사진을 나타낸다. 그림에서 볼 수 있듯이 전류가 증가하면 거대입자의 밀도도 증가하며 증착률 또한 선형적으로 증가하였다.

그림 4는 음극 아크 소스의 인가 전류 증가에 따른 AlTiN 박막의 거대입자 밀도를 이미지 프로세싱 프로그램으로 계산하여 표로 나타낸 것이다. SEM 결과와 유사하게 거대입자 밀도가 증가함을 관찰하였다. 50 A를 음극 아크 소스에 인가하여 제조한 AlTiN 박막의 거대입자 밀도는 약 5%이었으

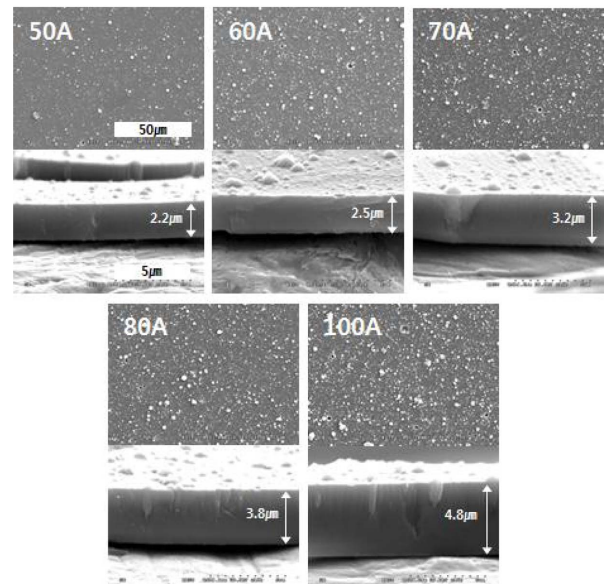


Fig. 3 Surface and cross-sectional SEM images of AlTiN films deposited with current of 50, 60, 70, 80, and 100 A applied to cathodic arc source.

Table. 2. Test conditions of oxidation resistance for AlTiN films.

Temperature range	Atmosphere	Heating time	Sample size
500 ~ 1000°C	Air	1 hour	$75 \times 35 \text{ mm}^2$

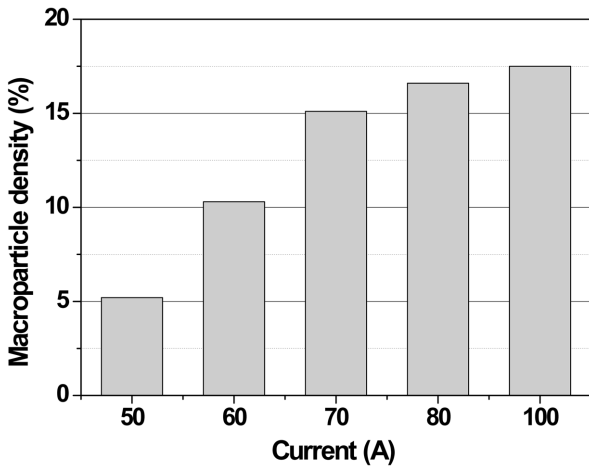


Fig. 4. Macroparticle density of AITiN films deposited with current of 50, 60, 70, 80, and 100 A applied to cathodic arc source.

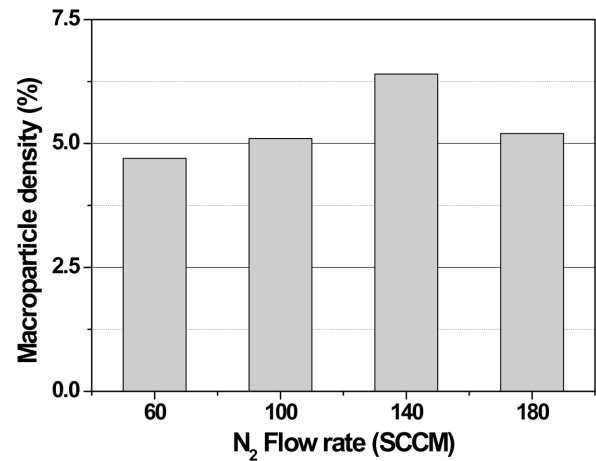


Fig. 6. Macroparticle density of AITiN films deposited with N₂ flow rate of 60, 100, 140, and 180 sccm.

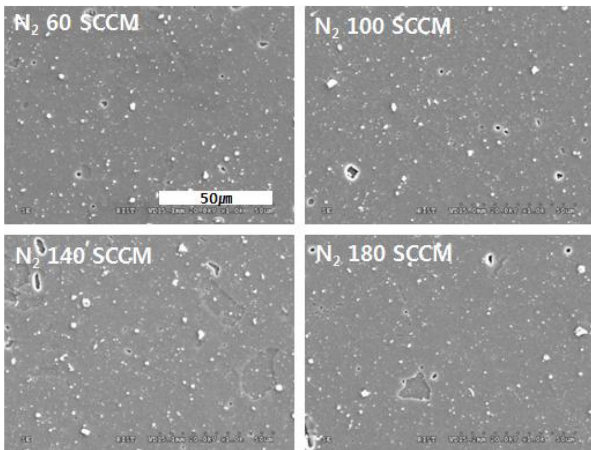


Fig. 5. Surface SEM images of AITiN films deposited with N₂ flow rate of 60, 100, 140, and 180 sccm.

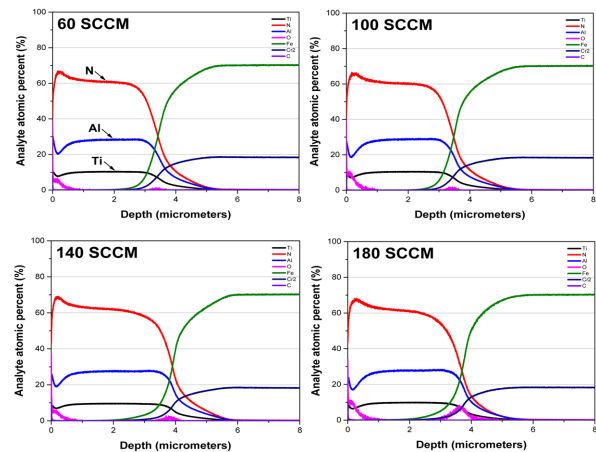


Fig. 7. GDLS Depth profile of elemental content for AITiN films deposited with N₂ flow rate of 60, 100, 140, and 180 sccm.

며, 반면에 100 A의 전류로 제조한 박막의 거대입자 밀도는 약 17.5%이었다. 인가 전류에 따른 AITiN 박막의 경도 변화는 확인하지 못했다. 이러한 결과를 바탕으로 음극 아크 소스의 인가 전류는 50 A로 고정하였다.

3.1.2. N₂ 유량 변화에 따른 거동

반응 가스인 질소의 유량을 변화시켜 박막의 특성을 관찰하기 위하여 각각 60, 100, 140 그리고 180 sccm으로 N₂ 유량을 조절하여 제조한 AITiN 박막을 분석하였다. Ar 가스의 유량은 80 sccm으로 고정하였다.

그림 5와 그림 6은 각각 N₂ 유량 변화에 따른 AITiN 박막의 표면 SEM 사진과 이미지 프로세싱 프로그램을 이용하여 거대입자 밀도를 측정된 결과이다. SEM 표면 분석과 밀도편차 측정 결과 N₂ 유량의 변화에 따라 거대입자의 변화가 크지 않았다.

그림 7은 N₂ 유량 변화에 따른 GDLS 분석 결과를 보여준다. 그림에서 보이는 것과 같이 N₂ 유량에 따른 AITiN 박막의 질소 조성의 변화는 관찰되지 않았다. 일정 유량 이상의 N₂를 코팅 공정 중에 진공용기에 공급해도 코팅층의 질화와 질소 함량 변화에 큰 영향을 주지 못하는 것으로 판단된다.

그림 8은 초미소경도 분석기를 이용하여 분석한 결과이며, N₂ 유량 변화에 따른 경도변화의 편차가 크지 않았다. 이는 N₂ 유량을 60에서 180 sccm으로 증가시켰지만, 박막에서 질소가 이미 포화상태이기 때문에 질소의 성분 변화가 없었고, 이러한 영향으로 인하여 거대입자의 밀도와 경도 변화가 관찰되지 않은 것으로 판단된다.

3.1.3. 기판 전압에 따른 거동 변화

기판 전압 변화에 따른 AITiN 박막의 특성을 확인하였다. 그림 9는 기판 전압을 각각 0, -50, -100,

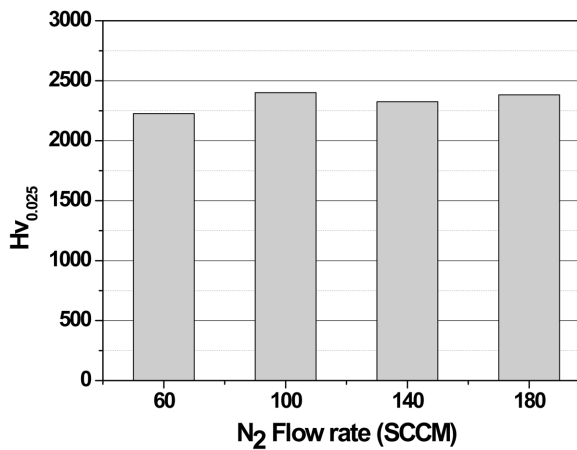


Fig. 8. Vickers hardness measured at a load of 25 g of AlTiN films deposited with N₂ flow rate of 60, 100, 140, and 180 sccm.

그리고 -150 V를 인가하여 제조한 코팅층의 표면과 단면의 SEM 사진이다. 본 실험에서 기판 전압 외에 모든 공정 조건은 고정하였다. 그림에서 볼 수 있듯이 기판 전압이 -50 V로 인가된 시편의 코팅층은 거대입자의 밀도가 상대적으로 높고, -100과 -150 V를 기판에 인가해서 제조한 AlTiN 박막의 거대입자 밀도는 상대적으로 낮은 것을 확인하였다. 또한 기판 전압이 증가할수록 박막이 점차 치밀해짐을 알 수 있었다. 이는 기판 전압이 증가하면, 증착 중 기판에 도달하는 이온에너지가 증가하여 표면이 이온 충돌(ion bombardment)[12]에 기인하여 거대입자 밀도가 감소하고 치밀한 미세구조를 갖는 박막이 제조된 것으로 판단된다[13]. 박막의 두께는 기판 인가 전압이 높아질수록 감소하는 현상을 보였는데 이는 박막의 밀도 증가에 의해 나타난 현상으로 판단되지만 재증발(resputtering)에 의한 것일 가능성도 있다. 이러한 재증발은 기판근처에서 생성된 플라즈마 이온 쉬스(sheath)에 기인한 것으로 판단된다[13].

그림 10은 초미소경도 분석기를 이용하여 기판

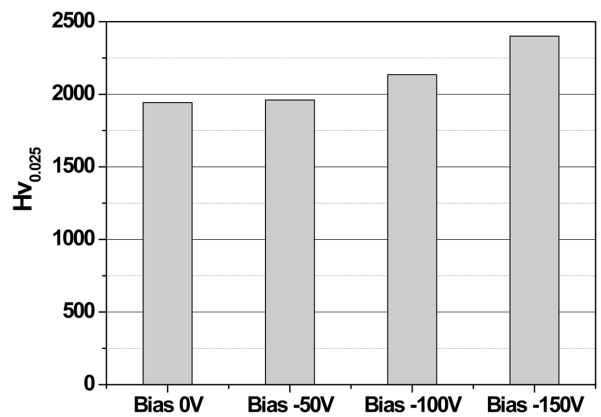


Fig. 10. Vickers hardness measured at a load of 25 g of AlTiN films deposited with bias voltages applied to substrate of 0, -50, -100, and -150 V.

전압에 따른 경도 변화를 분석한 결과이다. 초미소경도 측정 결과, 기판 인가 전압이 증가하면 경도도 증가하였다[2,14]. AlTiN 박막의 경도 증가의 원인으로 기판 전압 증가에 따른 코팅층의 밀도 증가, 즉 코팅층 조직이 치밀해짐에 의하여 박막의 경도가 증가한 것으로 판단된다.

위의 결과로부터 공정변수에 따른 거대입자 거동에 대한 효과를 요약하면 다음과 같다. 음극 아크 소스 인가 전류의 세기가 낮을수록 거대입자의 밀도가 낮고, 질소 유량의 변화는 AlTiN 박막의 거대입자 밀도와 경도 등 특성 변화에 영향을 주지 않았으며, 마지막으로 기판 전압은 -150 V 일 때 AlTiN 박막의 표면에 존재하는 거대입자의 밀도가 비교적 낮았으며 경도는 상대적으로 높은 것으로 나타났다. 이러한 결과를 바탕으로 음극 아크 소스를 이용하여 AlTiN 박막의 공정조건을 인가전류 50 A, 질소유량은 180 sccm, 그리고 기판 전압은 -150 V로 결정하고 빗각증착을 적용하여 물리적 특성 변화를 관찰하기 위한 실험을 실시하였다.

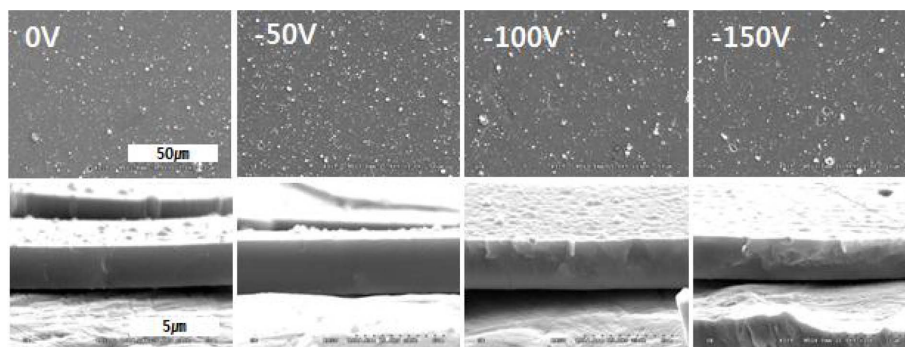


Fig. 9. Surface and cross-sectional SEM images of AlTiN films deposited with bias voltages applied to substrate of 0, -50, -100, and -150 V.

Table 3. Deposition conditions of single layered and multi-layered AlTiN films.

Type No.	Types of coating structure		1layer	2layer	3layer	4layer
1	bias* 0 V (*bias means voltage applied to substrates)	Oblique angle (°)	0			
		Bias (V)	0			
2	bias 150 V	Oblique angle (°)	0			
		Bias (V)	-150			
3	0°+0/150/0/150	Oblique angle (°)	0	0	0	0
		Bias (V)	0	-150	0	-150
4	30°+0/150/0/150	Oblique angle (°)	30	30	30	30
		Bias (V)	0	-150	0	-150
5	45°+0/150/0/150	Oblique angle (°)	45	45	45	45
		Bias (V)	0	-150	0	-150
6	60°+0/150/0/150	Oblique angle (°)	60	60	60	60
		Bias (V)	0	-150	0	-150
7	75°+0/150/0/150	Oblique angle (°)	75	75	75	75
		Bias (V)	0	-150	0	-150

3.2. 빗각 증착에 의한 다층구조 박막의 경도 변화

다층구조가 박막의 경도에 영향을 준다는 연구의 결과를 바탕으로 앞서 도출된 공정을 이용하여 다층구조에 빗각증착을 적용하여 박막의 경도에 미치는 영향을 알아보았다. 표 3에 코팅구조에 따른 시편과 번호를 간략하게 정리하여 나타내었다. 비교군으로 빗각을 적용하지 않은 시편과 빗각을 적용하지 않고 기판 전압만 인가한 시편을 사용하였다. 다층구조의 코팅층은 빗각이 적용된 상태에서 바이어스 전압을 제 1층에는 인가하지 않고 제 2층에는 -150 V를 인가하는 것을 1회 반복하여 총 4층의 구조로 박막을 제조하였으며, 실험방법에서 개요도 (Fig. 2.)로 설명하였다.

그림 11은 빗각증착을 적용하여 다층구조의 박막을 제조한 후 TEM을 이용하여 단면을 촬영한 사진이다. TEM으로 분석을 했지만 빗각의 각도에 따

라 코팅층 성장 조직의 기울기 변화는 관찰되지 않았다. TiN에서는 빗각의 각도가 증가함에 따라 코팅층 조직의 기울기도 증가했지만[4] 본 실험에서의 AlTiN는 Al의 고함량 첨가[15]와 공정압력이 1.0×10^{-2} torr로 비교적 높은 압력으로 인하여 코팅층 조직이 기울어진 주상으로 성장하지 않고 치밀한 구조로 성장하였다. 하지만 바이어스 인가 여부에 따라 TEM 사진 상에서 명암의 대조가 관찰되었다. 이는 바이어스를 인가한 제 2층과 제 4층이 치밀한 구조로 성장하여 바이어스를 인가하지 않은 제 1층과 제 3층과의 밀도 차이에 의해 나타난 명암의 대비로 판단된다.

그림 12는 빗각증착을 적용하여 다층구조의 코팅층을 제조한 후 나노인덴터로 경도를 측정된 결과이다. AlTiN 박막의 경도가 전체적으로 비교적 낮게 측정되었는데 이는 Al (75at.%) 고함량의 영향

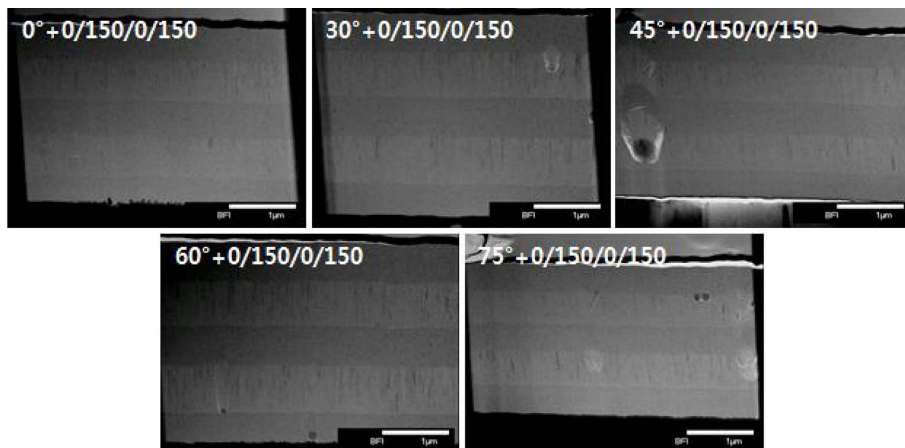


Fig. 11. Cross-sectional TEM images of various coating structure of AlTiN films.

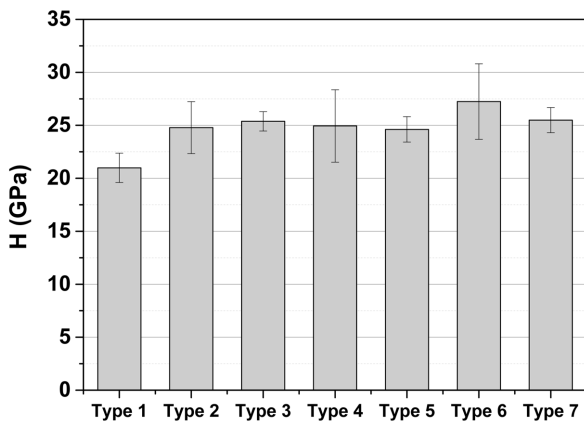


Fig. 12. Indentation hardness of various coating structure of AlTiN films.

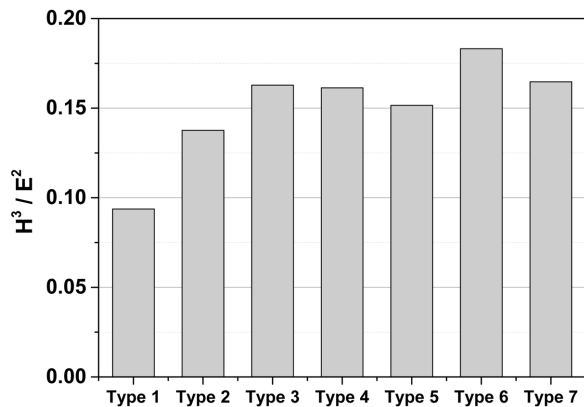


Fig. 13. H³/E² ratio of various coating structure of AlTiN films.

으로 판단된다[16]. 그림에서 볼 수 있듯이 기판 전압을 -150 V만 인가하여도 경도가 증가함을 확인하였으며, 60°의 빗각을 적용한 60°+ 0/-150/0/-150 구조의 AlTiN 박막이 약 28 GPa로 상대적으로 높은 경도를 보였다.

그림 13은 박막의 신뢰성 지수(H³/E²)를 계산하여 나타낸 그래프이다. 고경도 박막은 일반적으로 경도(H)가 높아지면 탄성계수(E)도 함께 증가하는 경향을 보인다. 이러한 현상의 결과로 박막의 잔류응력이 증가하여 밀착력이 낮아지고, 외부의 충격에 의해서 박막이 깨져 수명 즉 신뢰성이 낮아지는 현상을 보인다. 박막의 경도와 탄성계수의 비인 신뢰성 지수(H³/E²)가 크면 경도가 증가해도 상대적으로 탄성계수는 크게 증가하지 않아 수명이 향상되는 경향이 있다[4]. 그래프에서 보이는 것과 같이 기판 전압과 빗각증착을 적용하여 다층구조로 제조된 모든 AlTiN 박막의 신뢰성 지수가 높았다. 그중에서 상대적으로 높은 경도를 보였던 60°+ 0/150/0/150 구조의 박막이 다른 박막들과 비교하여 0.18의 높은 신뢰성 지수를 보였다. 이는 AlTiN 박막에 적용

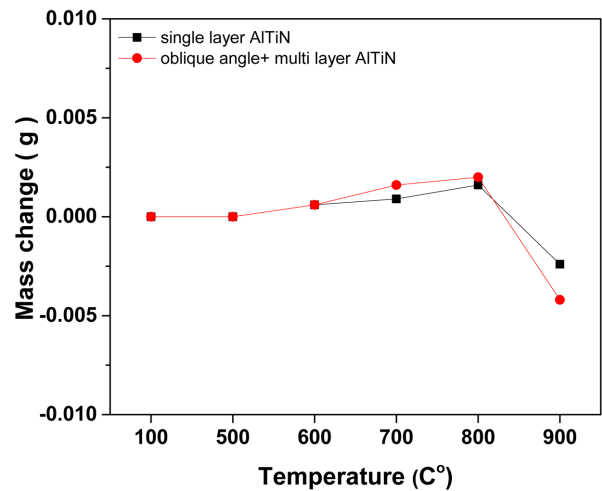


Fig. 14. Mass Change of AlTiN films treated with temperature of 500, 600, 700, 800, and 900°C.

된 빗각이 응력을 완화시켜 나타난 현상[4]으로 판단된다. 이는 음극 아크 증착에서 빗각증착을 이용하면 박막의 물성 및 신뢰성 지수를 동시에 증가시킬 수 있는 가능성을 보여줬다.

3.3. 내산화성 평가

그림 14는 단일층으로 AlTiN 박막이 증착된 시편과 빗각을 적용한 다층구조로 제조된 AlTiN 박막을 대기 중에서 500 ~ 1000°C까지 100°C 단위로 온도를 올려 1 시간 동안 열처리 한 후 시편의 무게를 측정하여 내산화성을 확인한 결과이다. 그림에서 볼 수 있듯이 800°C까지 열처리 한 후에도 무게가 각각 0.0016 g과 0.0020 g 밖에 증가하지 않았다. 열처리 온도 900°C에서는 모든 시편의 무게가 갑자기 감소되었다. 이는 증착된 박막의 산화가 급격하게 진행되어 박막의 박리가 일어나 나타난 현상으로 확인되었다.

본 연구결과를 통해서 AlTiN 박막이 800°C까지 우수한 내산화성을 확보할 수 있다는 사실을 확인하였다[17,18]. 또한 다른 연구결과에 따르면 850°C에서 40 시간동안 내산화성 실험을 진행했을 시 Al함량이 75at.%보다 낮은 모든 AlTiN 박막은 완전히 산화되었지만 75at.%인 AlTiN 박막은 완전히 산화되지 않고 오직 산화막 두께만 1.1 μm까지 천천히 증가했다는 보고가 있다[19]. 이는 고 Al함량의 AlTiN 박막이 코팅된 공구가 장시간 작업 시 다른 AlTiN 이 코팅된 공구보다 공구수명이 우수할 것으로 판단된다. 하지만, 본 연구에서 한 가지 조성의 AlTiN 박막에 대해서만 내산화성을 평가하여 Al함량에 따른 내산화성 변화는 관찰하지 않았다.

빗각이 적용되지 않는 시편과 적용된 시편 모두

비슷한 무게 증가와 동일한 온도구간에서 박막이 산화되어 박리가 일어난 실험결과를 통해 빗각적용 여부에 따라 AlTiN 박막의 내산화성 차이가 없다는 사실을 확인하였다. 이는 박막의 조직을 제어하기 위한 기술 중 하나인 빗각증착이 내산화성에는 기여하지 않는 것으로 판단된다.

본 연구결과를 통해 공정조건에 따른 AlTiN 박막의 특성을 평가하였고, 음극 아크 소스의 인가 전류, 기판 전압 그리고 빗각증착과 같은 공정 변수가 박막의 구조 변화에 영향을 주어 물성을 향상시킬 수 있음을 확인하였다.

4. 결 론

음극 아크 증착을 이용하여 공정변수에 따른 AlTiN 박막을 제조하고 그 특성을 평가하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 음극 아크 소스의 인가 전류가 낮을수록, 기판 전압이 높을수록 AlTiN 박막 표면에 존재하는 거대입자의 밀도가 낮아지는 경향을 보였다.

2. 빗각증착을 적용하여 제조한 AlTiN 박막은 기울어진 주상조직이 나타나지 않고 치밀한 구조를 보였다. 하지만 경도가 증가하여 빗각의 효과가 있는 것으로 판단된다.

3. 60°의 빗각을 적용하여 제조한 다층구조의 AlTiN 박막이 상대적으로 높은 경도와 신뢰성 지수를 보여 빗각이 적용된 다층구조가 기존 박막과 비교하여 박막의 응력을 완화시키고 물성을 증가시켜 절삭공구에 적용한다면 내구성 향상에 기여할 것으로 판단된다.

4. AlTiN 박막은 800°C까지 우수한 내산화성을 보였다. 이는 AlTiN 박막의 Al 함량이 높아 나타난 현상으로 판단되며 공정변수에 의한 박막의 내산화성 변화는 관찰되지 않았다.

본 연구를 통해 음극 아크 소스를 이용하여 AlTiN 박막을 제조할 시 생성되는 거대입자를 현저하게 줄일 수 있는 공정을 도출하였으며, 빗각을 적용하여 제조된 다층구조의 박막 분석을 통해서 물리적 특성을 향상시킬 수 있는 가능성을 확인하였다. 하지만 빗각이 적용된 다층구조 박막의 물성 향상 기구를 이해하기 위해서 다양한 연구와 보다 깊은 고찰이 필요할 것으로 판단되며 향후 이에 대한 추가적인 연구를 진행할 예정이다.

감사의 글

본 연구는 산업통상자원부 핵심소재원천기술개발

사업(과제번호: 10047864)의 연구비 지원으로 수행되었다.

References

- [1] S. Y. Yoon, Y. B. Lee, K. H. Kim, A comparative study on mechanical properties of TiN and TiAlN films prepared by Arc Ion Plating Technique, J. Kor. Inst. Surf. Eng., 35 (2002) 199-205.
- [2] H. Y. Lim, J. K. Park, K. B. Kim, D. J. Choi, Y. J. Baik, Effect of TiAlN-based Nanoscale Multilayered Coating on the Cutting Performance of WC-Co Insert, J. Korean Vacuum Soc., 15 (2006) 110-116.
- [3] G. J. Cho, S. C. Lee, A Study on the Wear Characteristics of the Ball End Mill According to the AlTiN Coated Layers, J. Korean. Soc. Precis. Eng., 27 (2010) 54-61.
- [4] J. H. Jung, J. H. Yang, H. S. Park, M. A. Song, J. I. Jeong, Properties of TiN Films Fabricated by Oblique Angle Deposition, J. Kor. Inst. Surf. Eng., 45 (2012) 104-108.
- [5] D. Arias, A. Devia, J. Velez, Study of TiN/ZrN/TiN/ZrN multilayers coatings grown by cathodic arc technique, Surf. Coat. Technol., 204 (2010) 2999-3003.
- [6] H. G. Kim, S. H. Ahn, J. H. Lee, J. G. Kim, J. G. Han, A Study of Localized Corrosion Mechanisms in the Multilayered Coatings by Cathodic Arc Deposition, J. Kor. Inst. Surf. Eng., 36 (2003) 301-306.
- [7] J. J. Steele, M. J. Brett, Nanostructure engineering in porous columnar thin films: recent advances, J. Mater. Sci.:Mater. Electron., 18 (2007) 367-379.
- [8] K. M. A. Sobahan, Y. J. Park, J. J. Kim, Y. S. Shin, J. B. Kim and C. K. Hwangbo, Nanostructured optical thin films fabricated by oblique angle deposition, Adv. Nat. Sci., 1 (2010) 045005 (1-6).
- [9] M. A. Song, J. H. Yang, J. H. Jung, S. H. Kim, J. I. Jeong, Mechanical Properties of TiAlSiN Films Coated by Hybrid Process, J. Kor. Inst. Surf. Eng., 47 (2014) 174-180.
- [10] H. S. Park, J. H. Yang, J. H. Jung, M. A. Song, J. I. Jeong, Characteristics of Al Films Prepared by Oblique Angle Deposition, J. Kor. Inst. Surf. Eng., 45 (2012) 109-114.
- [11] S. H. Kim, Y. H. Jeong, H. C. Choe, Morphology change of HA films on highly ordered nanotubular Ti-Nb-Hf alloys as a function of electrochemical deposition cycle, Surf. Coat. Technol., 259 (2014) 281-289.

- [12] S. Y. Chun, Effect of Target Bias Voltage on Gold Films Using Plasma Based Ion Implantation, *J. Phys. Soc.*, 52 (2008) 1227-1230.
- [13] P. S. Seo, S. Y. Chun, TiN Coatings by Reactive Magnetron Sputtering Under Various Substrate Bias Voltage, *J. Kor. Inst. Surf. Eng.*, 41 (2008) 287-291.
- [14] A. Vladescu, V. Braic, M. Braic, M. Balaceanu, Arc plasma deposition of TiSiN/Ni nanoscale multilayered coatings, *Mater. Chem. Phys.*, 138 (2013) 500-506.
- [15] S. Y. Yoon, J. M. Yoo, S. Y. Yoon, K. H. Kim, Comparative study on impact behavior of TiN and TiAlN coating layer on WC-Co substrate using Arch Ion Plating Technique, *J. Kor. Inst. Surf. Eng.*, 35 (2002) 408-414.
- [16] T. Ikeda, H. Satoh, Phase Formation and Characterization of Hard Coatings in the Ti-Al-N System Prepared by the Cathodic Arc Ion Plating Method, *Thin Solid Films*, 195 (1991) 99-110.
- [17] K. Dejun, G. Haoyuan, Friction-wear behaviors of cathodic arc ion plating AlTiN coatings at high temperatures, *Tribology international*, 88 (2015) 31-39.
- [18] J. Todt, R. Pitonak, A. Köpf, R. Weißenbacher, B. Sartory, M. Burghammer, R. Daniel, T. Schöberl, J. Keckes, Superior oxidation resistance, mechanical properties and residual stresses of an Al-rich nanolamellar $Ti_{0.05}Al_{0.95}N$ coating prepared by CVD, *Surf. Coat. Technol.*, 258 (2014) 1119-1127.
- [19] L. Chen, J. Paulitsch, Y. Du, P. H. Mayrhofer, Thermal stability and oxidation resistance of Ti-Al-N coatings, *Surf. Coat. Technol.*, 206 (2012) 2954-2960.