

<단신>

**NbC_xC_{1-x}/Y₂O₃ 박막코팅을 이용한 Al₂O₃/Ti 계면특성향상
- (1)스퍼터링 및 열안정성**

문 철 희

위스콘신 대학교 재료공학과 연구원(현재 삼성전원 근무)
(1997년 5월 9일 접수)

**Enhanced Al₂O₃/Ti Interfacial Properties Using NbC_xC_{1-x}/Y₂O₃
Interlayers - (1)Sputtering and Thermal Stability**

Cheol-Hee Moon

Dept. of Mat. Sci. and Engr., University of Wisconsin-Madison
(Samsung Display Devices co. now)

(Received May 9, 1997)

요 약

5 mm 두께의 알루미늄 기판위에 0.7 μm 두께의 NbC_xC_{1-x}층을 스퍼터코팅하였고, 그 위에 0.7 μm 두께의 Y₂O₃ 층 및 1 μm 두께의 Ti층을 차례대로 스퍼터코팅하였다. 두께분포가 균일하고 접착력이 좋은 코팅막을 제조하기 위하여 스퍼터 power와 Ar압력을 달리하며 최적의 조건을 찾았다. 이와같이 스퍼터코팅한 Al₂O₃/NbC_xC_{1-x}/Y₂O₃/Ti 구조를 복합재로 사용하는 경우의 열안정성을 파악하기 위하여 이를 제조공정온도와 비슷한 온도인 950°C 및 1000°C에서 진공열처리 하였다. 열처리한 시편을 peel off 테스트한 결과 950°C, 3시간의 열처리조건하에서는 코팅층의 접합이 유지되었으나 1000°C의 경우에는 코팅층이 벗겨지는 것을 관찰하였다. 또한 Al₂O₃/NbC_xC_{1-x}/Y₂O₃/Ti 구조의 열안정성은 NbC_xC_{1-x}층의 조성에 따라 달라지는 것으로 파악되었다.

ABSTRACT

Multilayer NbC_xC_{1-x}/Y₂O₃/Ti were sputter-coated on the alumina substrate, starting with a 0.7 μm thick NbC_xC_{1-x} layer grown on substrate, followed by 0.7 μm thick Y₂O₃ layer and 1 μm thick Ti layer. To find out the optimum conditions for thickness uniformity and adhesion, sputtering works have been done with the variation of sputtering power and Ar pressure. After vacuum annealing at 950°C and 1000°C, the thermal stability of the NbC_xC_{1-x}/Y₂O₃/Ti coated alumina substrates has been investigated by peel off test. The coating scheme didn't cause any debonded layer after an annealing at 950°C for 3hrs. However, it was peeled off after annealing at 1000°C for 3hr. It was found that the thermal stability of Al₂O₃/NbC_xC_{1-x}/Y₂O₃/Ti coating scheme changed with the NbC_xC_{1-x} composition.

Key words : Al₂O₃/Ti composites, Interfacial properties, Diffusion barrier, Sputtering conditions, Thermal stability

1. 서 론

항공산업에 필요한 재료는 고강도, 저비중, 높은 사용 온도, 내식성 등의 요건을 만족해야 하므로 Ti합금, Ni계 superalloys, Al합금, PMC(polymer matrix composite), CCC(carbon carbon composite), MMC(metal matrix composite) 등이 이용되어지고 있다. 이들 중에서 MMC의 하나인 알루미늄나 첨유강화 Ti복합재

료(Al₂O₃ fiber reinforced titanium composites)는 상당히 유망한 재료중의 하나이지만 다음과 같은 점들이 중요한 관건이 되고 있다. 첫째, Ti는 화학적 반응성이 높은 물질로서 현재 복합재를 만들기 위한 공정이 고온, 고압하에서 이루어지고 있음을 감안할 때^{1,2)}, 그리고 고온이며 부식되기 쉬운 사용환경을 고려한다면 Al₂O₃/Ti 계면에서의 반응성이 문제가 된다. 둘째, 이와같은 Al₂O₃/Ti 계면의 반응을 막기 위하여 계면에 코팅층을

도입하는 경우 모든 층간의 접합성이 좋아야 한다.¹⁾ 이를 위해서는 기판과 접착성이 좋은 코팅재료를 선택하는 것⁴⁾이외에도 적절한 성장조건을 선택하는 것이 중요하다. 스퍼터링의 경우를 예로들면 표면전처리, 스퍼터링 power, 기판polishing, 스퍼터링 후의 열처리, negative bias 등에 따라 코팅강도(adhesion strength)가 달라진다고 보고되어 있다.^{5,6)} 셋째, 알루미늄나 첨유강화 Ti복합재료가 다음의 식 (1)과 같은 "Rule of mixture"에 따르는 기계적특성을 가지기 위해서는 Al₂O₃/Ti 계면의 역할이 중요하다.⁷⁾

$$P_c = P_f V_f + P_m V_m \quad (1)$$

여기서 P_c는 복합재의 물리적특성, P_f, V_f는 첨유의 물리적특성과 부피분율, P_m, V_m는 Ti기지의 물리적특성과 부피분율이다. MMC에서 금속기지의 주된 역할은 부하를 첨유에 전달해주고 첨유를 주변 분위기로부터 보호하며, toughness를 제공하는 것이다. 첨유로 전달된 부하는 계면을 따라서 전파되거나(첨유와 기지사이에서의 debonding) 혹은 첨유내부로 전파되는데(load transfer) 이때 첨유와 기지사이에서 계면층의 성질에 따라서 계면에서의 파괴양상이 debonding인지, 혹은 load transfer인지가 결정된다.⁸⁾ 따라서 계면과 기지사이에서 적합한 특성을 가진 코팅층을 도입하는 것이 필요하다.

Al₂O₃/Ti 계면에 적용할 수 있는 코팅층에 관한 연구는 우선 열역학적으로 Al₂O₃ 및 Ti와 평형상태에 있는 재료를 선택하는 것으로부터 출발한다.⁹⁾ 어떤 온도에서 두가지 물질이 열역학적으로 평형상태에 있는가를 알아 보려면 그 온도에서의 상태를 살펴보면 된다. Fig. 1은 1100°C에서 Al-O-Ti간의 3원계 상태도이다. 그림

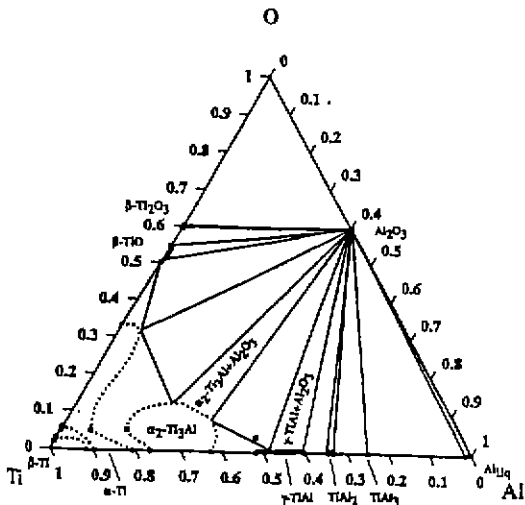


Fig. 1. Al-O-Ti ternary phase diagram at 1100°C

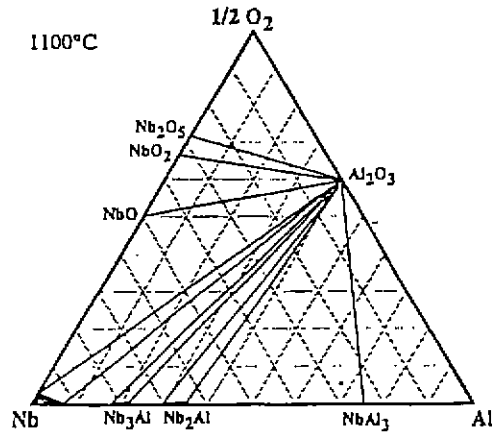


Fig. 2. Al-Nb-O ternary phase diagram at 1100°C

에서 Al과 O사이에서 Al₂O₃의 조성을 가지는 상이 위치하고 있으며 Ti는 왼쪽 아래 모서리에 위치하고 있다. 고온에서 β-Ti와 Al₂O₃ 사이에는 TiAl, Ti₃Al, α-Ti 등의 상이 형성된다고 밝혀져 있으므로¹⁰⁾ 이러한 Al₂O₃/Ti 계면의 반응을 막아줄 수 있는 코팅층에 대한 많은 연구가 진행되어 왔으며, 그 결과 Al₂O₃/Nb/Y₂O₃/Ti 시스템이 제안되었다.¹¹⁾ 이와같은 다층구조가 선택된 이유는 크게 두가지를 들 수 있다. 첫째, Fig. 2의 Al-Nb-O상태도에서 Al₂O₃와 Nb 사이에는 직선이 존재하므로 Al₂O₃와 Nb간에는 1100°C에서 화학적반응이 일어나지 않음을 알 수 있으며, Fig. 3과 Fig. 4에서도 각각 Nb/Y₂O₃, Y₂O₃/Ti 사이는 열역학적으로 평형상태에 있다. 따라서 1100°C의 고온에서도(1100°C는 Ti복합재의 제조공정 온도 및 사용온도를 고려할 때 충분히 높은 온도이다.¹²⁾) Al₂O₃/Nb/Y₂O₃/Ti 구조의 모든 계면이 열역학적으로 안정하다. 둘째는, 각 층을 이루는 재료의 열팽창계수에

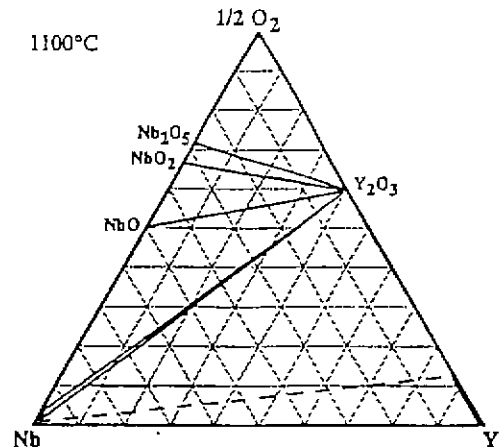


Fig. 3. Nb-O-Y ternary phase diagram at 1100°C

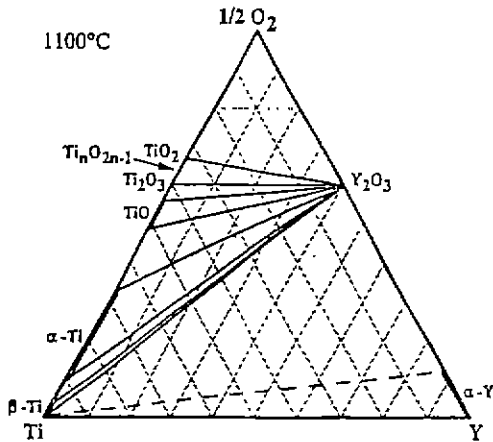


Fig. 4. O-Ti-Y ternary phase diagram at 1100°C

관한 것이다. 각 층의 열팽창계수가 크게 차이나는 경우에는 가열 혹은 냉각시 계면에서의 열응력으로 인하여 층간에 debonding이 일어나게 된다. 그런데 $Al_2O_3/Nb/Y_2O_3/Ti$ 시스템의 경우는 각 층의 열팽창계수가 Al_2O_3 는 7.8, Nb는 7.2, Y_2O_3 는 8.1, Ti는 $8.9 \times 10^{-6}/K$ 로서 각 층의 열팽창계수가 비슷함을 알 수 있다. 이와같이 Al_2O_3/Ti 계면에 Nb와 Y_2O_3 층을 코팅하는 구조는 고온에서도 열역학적이거나 열팽창계수 측면에서는 문제가 없는 것을 알 수 있다. 그런데 이러한 구조가 복합재로서 사용되어 지려면 알루미늄나섬유 계면근처에서 load transfer와 debonding이 적합하게 일어나야 한다.⁷⁾ 이와같은 $Al_2O_3/Nb/Y_2O_3/Ti$ 구조의 기계적인 특성을 평가한 결과 Ti기 지내의 crack이 알루미늄나섬유로 전파될 때 계면방향으로의 전파(debonding)는 전혀 없이 바로 섬유로 전파(load transfer)되는 양상을 보여 복합재로서의 기능적인 특성을 만족시켜주지 못함이 밝혀졌다.¹¹⁾ 이는 코팅층으로 쓰인 Nb층의 강도가 너무 강하기 때문인 것으로 파악된다. 즉, 복합재에서 load transfer가 일어나서 부하가 섬유로 전달되도록 하기 위해서는 어느 정도의 계면강도가 필요하지만, 계면강도가 너무 크면 debonding이 전혀 없이 crack이 바로 섬유를 통하여 전달되므로 순간적으로 crack이 시편전체로 진행된다. 반대로 계면강도가 약하면 debonding이 일어나서 파괴인성(fracture toughness)을 증가시키고 계면을 통하여 어느 정도의 응력을 완화시키는 역할을 하지만¹³⁾, 계면강도가 너무 약하면 섬유와 수직인 방향으로는 부하가 걸리지 않고 섬유/기지의 계면을 따라서만 crack이 진행되므로 강도가 큰 섬유를 혼합한 효과가 없어지게 된다. 이와같이 알루미늄나 섬유가 수없이 배열되어 있는 실제의 복합재구조에서 부하가 어떤 식으로 전달되는 것이 좋은가하는 것은 직접 실험을 통하지 않고서는 짐작하기 힘든 문제이며 따라서

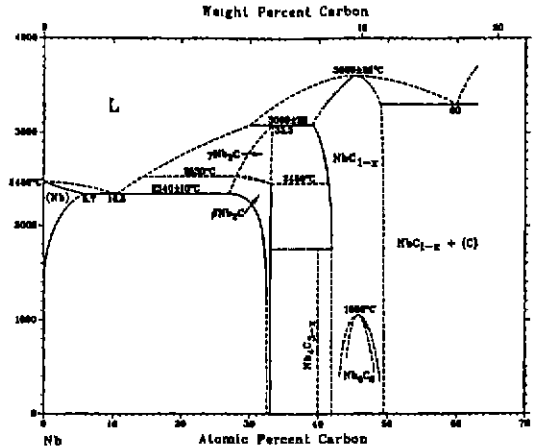


Fig. 5. Nb-C phase diagram

계면층의 특성을 여러 가지로 변화시켜며 적합한 조건을 찾는 것이 필요하다. 이와같은 이유로 인하여 본연구에서는 $Al_2O_3/Nb/Y_2O_3/Ti$ 시스템에서 Nb층의 강도를 낮추기 위한 방법으로 C코팅층을 이용하는 방법에 대하여 거론하고자 한다. 왜냐하면 $Al_2O_3/C/Y_2O_3/Ti$ 시스템은 높은 온도에서 안정하며 자연스럽게 debonding을 일으킨다고 알려져 있기 때문이다.¹⁴⁾ Nb와 C층을 결합시키는 방법으로는 Nb/C 의 다층코팅을 이용하는 방법, Nb와 C가 혼합된 코팅층을 이용하는 방법 등을 생각할 수 있으나 본 연구에서는 후자의 방법을 선택하였다. 그런데 Fig. 5에서 알 수 있듯이 Nb와 C사이에는 강도가 큰 탄화물 NbC가 존재하므로 실제적인 코팅층의 조성은 NbC와 C층이 혼합된 NbC_xC_{1-x} 층으로 하였다. 이와같은 $Al_2O_3/NbC_xC_{1-x}/Y_2O_3/Ti$ 다층구조를 통하여 NbC_xC_{1-x} 층의 조성을 달리하여 계면에서 load transfer와 debonding이 혼합된 파괴양상이 일어나게 하는 것이 본 연구의 목적이다. 이를 위하여 (1)편에서는 $NbC_xC_{1-x}/Y_2O_3/Ti$ 코팅층의 적합한 성막조건 및 다층구조의 열안정성에 관하여 실패보고 (2)편에서는 제작된 시편에 대하여 계면의 특성을 평가하도록 하겠다.

2. 실험방법

기판으로는 길이 5.5 cm, 폭 0.5 cm, 두께 0.05 cm인 다결정 알루미늄 기판(순도 99.6%)이 사용되었으며 α -step profilometer로 측정된 결과 기판의 표면거칠기는 $0.2 \mu m$ 인 것으로 판명되었다. Ti, Y_2O_3 타겟은 상용화된 제품을 사용하였으나 NbC_xC_{1-x} ($x=1, 0.75, 0.5, 0.25, 0$) 타겟은 NbC와 C 파우더를 중량비대로 잘 혼합한 후 1차로 상온에서 20 MPa로 압축하였고, 2차로는 10^{-5} torr, $1700^\circ C$ 진공분위기에서 4 MPa의 압력으로 15시

간동안 hot press하여 제조하였다. 모든 타겟의 크기는 직경 5 cm, 두께 0.63 cm로 하였다. 코팅에 사용된 장비는 dc/rf 마그네트론 스퍼터링장치로서 로타리펌프와 cryo펌프를 사용하여 4×10⁻⁷ torr의 진공을 형성한 후 1~10 mtorr의 Ar분위기하에서 전압을 가하여 플라즈마를 형성하였다. 10분동안 플라즈마를 안정화시키기 위한 예비스퍼터링에 이어 다시 10분동안 타겟의 표면을 깨끗이 하기 위한 예비스퍼터링을 실시한 후에 스퍼터링을 실시하였다. 기관 받침대는 chamber내에서 회전할 수 있도록 설계하여 NbC_xC_{1-x}, Y₂O₃, Ti 타겟밀로 순차적으로 이동하며 모든 층을 연속적으로 코팅하였다. 스퍼터링 chamber에 넣기 전에 모든 기관은 아세톤과 알콜에서 각각 20분씩 세정하였으며 600°C에서 2시간 열처리 후 질소 압축가스로 표면부의 먼지를 제거하였다. Ti, NbC_xC_{1-x} 층은 dc전원을 사용하여 스퍼터링하였고 Y₂O₃ 는 rf전원을 사용하였다. 최적의 스퍼터링조건을 찾기 위하여 Ar의 압력은 1, 3, 5, 7 mtorr로 달리하였고, power는 100-300W 범위내에서 여러가지로 달리하며 실험하였다. 다층막의 두께는 NbC_xC_{1-x} 0.7 μm, Y₂O₃ 0.7 μm 그리고 Ti는 1 μm이 되도록 하였다. 여기서 NbC_xC_{1-x}와 Y₂O₃의 두께를 0.7 μm로 정한 이유는 일반적으로 코팅층의 두께는 기관 표면거칠기의 3배 이상이어야 코팅이 연속적으로 잘된다고 알려져 있으므로 본실험에서 사용한 알루미늄이나 기관의 표면거칠기인 0.2 μm를 고려한 두께이며, Ti의 경우에는 나중에 서로 접합되는 층이므로 접합력이 좋게하기 위하여 많이 사용되는 두께인 1 μm로 하였다.⁴⁾ 스퍼터링한 알루미늄기관을 석영관 튜브에 넣어 10⁶ torr의 진공을 만든 후 밀봉하였고 이를 열처리하여 코팅층이 벗겨지는지의 여부를 관찰하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 스퍼터링 조건의 확립

Fig. 6은 Ar압력에 따른 코팅속도의 변화를 측정 한 것이다. 본 연구의 경우 시편 전체에 걸친 코팅두께의 균일성이 중요하게 요구되므로 기관의 길이방향으로 9개의 위치를 설정하여 이들 위치에서의 코팅두께를 측정하여 비교하였다. 그림에서 Ar압력이 증가할수록 코팅속도가 증가하지만 위치에 따른 코팅두께의 균일성은 비슷한 것으로 나타났으며 위치에 따른 코팅두께의 오차는 1-5 mtorr의 경우 ±5%정도인 것으로 측정되었다. 7 mtorr의 경우에는 ±10% 정도로서 두께의 균일성이 다소 떨어지는 것으로 나타났다. Fig. 7은 스퍼터링 power(Watts)에 따른 코팅속도의 변화를 나타낸 것으로서 power가 높을수록 코팅속도가 증가하며 100W와 200W일 때에 비하여 300W인 경우는 시편내의 위치에

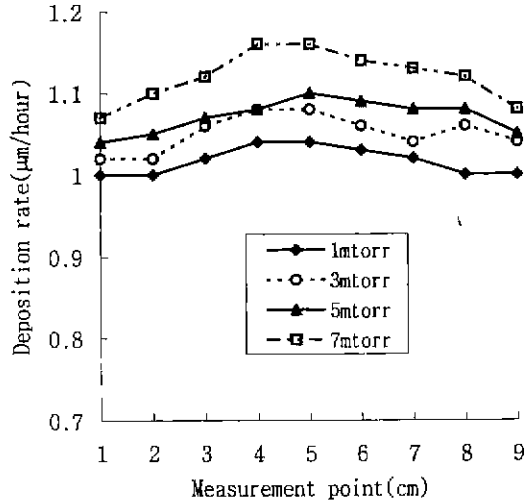


Fig. 6. Deposition rate and coating uniformity of Ti on alumina substrate at 200W

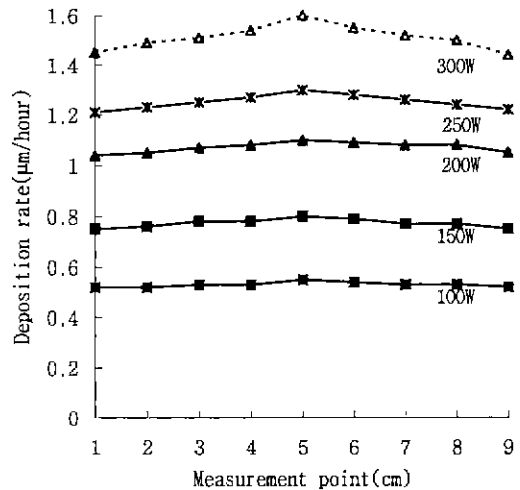


Fig. 7. Deposition rate and coating uniformity of Ti on alumina substrate at 5mtorr

따라 코팅두께가 많이 차이 나는 것으로 파악되었다. 따라서 본 실험에서 스퍼터링조건은 코팅두께의 균일성과 코팅속도를 고려하여 Ar압력은 5mtorr로, power는 200W로 결정하였다. 본 실험의 Al₂O₃/NbC_xC_{1-x}/Y₂O₃/Ti 구조에서 NbC_xC_{1-x}층의 경우는 타겟을 제조하는 데 있어 NbC와 C 파우더를 중량비로 혼합하여 제조하였으므로 이들을 실제 스퍼터링하였을 때 타겟의 조성파 일치하는 조성의 코팅층을 형성하는지 확인할 필요가 있다. Fig. 8은 NbC와 C의 조성비에 따른 코팅속도를 나타낸 것으로 NbC의 함량이 증가할수록 전체적인 증착속도가 증가함을 알 수 있다. NbC와 C의 코팅속도를 측

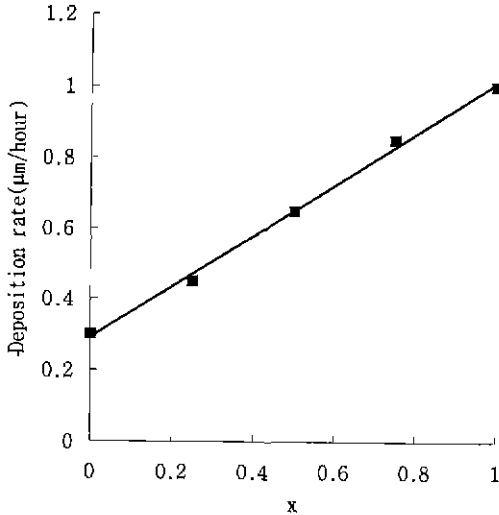


Fig. 8. Deposition rate of NbC_xC_{1-x} layer

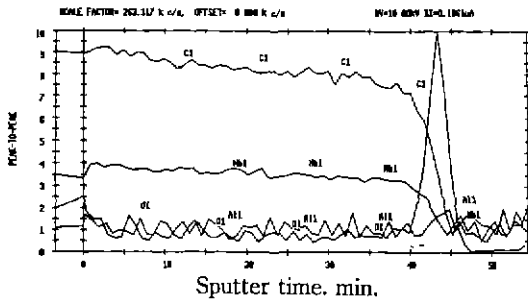


Fig. 9. AES profiles of NbC_{0.25}C_{0.75} layer

정한 결과 각각 1.0과 0.3 μm/hr로 파악되므로 이와같이 NbC_xC_{1-x} 타겟의 조성비에 따라 코팅속도가 달라지는 것은 당연한 결과인 것으로 사료된다. 또한 NbC_xC_{1-x}층의 조성을 AES로 측정한 결과 코팅된 필름의 조성이 타겟의 조성비와 일치함을 알 수 있었으며, Fig. 9는 이들 중 x=0.25인 경우의 AES profile로서 NbC와 C가 균일하게 혼합된 코팅층을 확인할 수 있다. 따라서 본 연구에서 자체제작한 NbC_xC_{1-x} 타겟에 의하여 스퍼터코팅된 층은 타겟의 조성대로 NbC와 C가 잘 혼합되어 있음을 확인할 수 있다.

3.2. 코팅층의 열안정성 테스트

앞에서 설명하였듯이 본실험의 Al₂O₃/NbC_xC_{1-x}/Y₂O₃/Ti 구조는 고온에서 성형하여 복합재로 사용하기 위한 것이므로, 실제 공정온도인 1000°C 근처에서 코팅층의 접합강도를 유지하는지, 또한 사용온도에서 열적으로 안정한지 살펴보는 것이 중요하다. 이를 위하여 시편을 열처리한 후 변화를 관찰하였는데, 일반적으로 코팅층 계면에서 화학반응이 일어나는 경우 육안으로도 열처리 후에 표면부의 코팅층이 벗겨진 것을 관찰 할 수 있었으나, 간혹 화학반응이 일어나고서도 외관상 그대로인 것 처럼 보이는 경우가 있었으므로 표면코팅층에 접착테이프를 붙여 테이프를 벗겨내는 경우 코팅층이 벗겨지는지를 조사하였다(peel off test). 여기서 peel off test를 행하는 이유는 본 실험의 궁극적인 목적인 NbC_xC_{1-x} 층의 조성변화에 따르는 계면특성의 변화를 살펴보기에 앞서서 시편 제조에 필요한 열공정온도를 정하는 것이다. 왜냐하면 열공정온도가 너무 높으면 공정중에 코팅층의 접합강도가 상실되어 복합재로서의 기능을 상실하기 때문이다. 물론 고온에서 코팅층의 접합강도가 복합재의 기능을 충족시키는 특성을 가지는지를 논하기 위해서는 peel off 테스트 이외에 보다 정량적인 테스트가 필요한데, 이는 논문(2)에서 4-point bending test를 통하여 평가하도록 하겠다. Table 1은 Al₂O₃/NbC, Al₂O₃/C, Al₂O₃/NbC/Y₂O₃, Al₂O₃/C/Y₂O₃ 등 여러 가지 코팅층이 입혀진 알루미늄 기판을 950°C 및 1000°C에서 3시간 동안 열처리한 후 peel off 테스트를 통하여 표면부의 상태를 비교한 것으로서, 모든 경우에 있어 코팅층이 벗겨지지 않음을 알 수 있었다. Table 2는 Al₂O₃/NbC_xC_{1-x}/Y₂O₃/Ti 시편을 동일한 조건에서 열처리한 후 peel off테스트한 것으로서

Table 1. Peel Off Test Results of Various Kinds of Coated Specimens

Materials	As sputtered	950°C for 3 hrs	1000°C for 3 hrs
Al ₂ O ₃ /NbC	OK	OK	OK
Al ₂ O ₃ /C	OK	OK	OK
Al ₂ O ₃ /NbC/Y ₂ O ₃	OK	OK	OK
Al ₂ O ₃ /Y ₂ O ₃	OK	OK	OK

Table 2. Peel Off Test Results of Al₂O₃/NbC_xC_{1-x}/Y₂O₃/Ti Specimens

Materials	As sputtered	950°C for 3 hrs	1000°C for 3hrs
Al ₂ O ₃ /NbC/Y ₂ O ₃ /Ti	OK	OK	OK
Al ₂ O ₃ /NbC ₇₅ C ₂₅ /Y ₂ O ₃ /Ti	OK	OK	OK
Al ₂ O ₃ /NbC ₅₀ C ₅₀ /Y ₂ O ₃ /Ti	OK	OK	peel off
Al ₂ O ₃ /NbC ₂₅ C ₇₅ /Y ₂ O ₃ /Ti	OK	OK	peel off
Al ₂ O ₃ /Y ₂ O ₃ /Ti	OK	OK	peel off

950°C의 경우에는 모든 시편에서 코팅층이 벗겨지지 않았으나, 1000°C의 경우에는 x가 0.5이하인 조성에서 코팅층이 벗겨지는 것을 확인할 수 있었다. 이와같은 실험결과로부터 Al₂O₃/NbC_xC_{1-x}/Y₂O₃/Ti 시스템의 열안정성은 열처리온도 뿐만아니라 NbC_xC_{1-x} 층의 조성에 의해서도 달라짐을 알 수 있으며, 950°C에서는 안정하나 1000°C에서는 C함량이 높은 조성에서 열안정성이 문제가 되고 있음을 알 수 있다. 그러나 Ti층을 코팅하지 않은 Table 1의 시편들에서는 1000°C에서 열처리한 후에도 C함량에 관계없이 코팅층의 접합이 유지되었다는 사실로 미루어 보았을 때, Al₂O₃/NbC_xC_{1-x}/Y₂O₃/Ti 구조에서 코팅층이 벗겨지는 현상은 고온에서 C와 Ti가 반응하기 때문인 것으로 판단되어진다. 이와같은 결과를 고려하면 Al₂O₃/NbC_xC_{1-x}/Y₂O₃/Ti 시스템에서 코팅층이 벗겨지는 현상을 막기 위해서는 Y₂O₃층의 두께를 충분히 두껍게 하여 확산을 막는 방법과 사용 온도를 낮추는 방법 등을 생각할 수 있으나, 전자의 경우는 계면의 강도를 약하게 하여 본 실험의 목적과 부합하지 않으므로 후자의 방법을 고려해야 함을 알 수 있다. 그런데 본 실험의 결과 Al₂O₃/NbC_xC_{1-x}/Y₂O₃/Ti 구조는 950°C, 3시간의 열처리조건하에서는 NbC_xC_{1-x}층의 조성에 관계없이 안정한 것으로 파악되었으므로, 논문(2)에서는 이러한 열처리조건하에서 NbC_xC_{1-x}층의 조성을 달리하는 테스트시편을 제작하여 이들의 계면특성을 평가하도록 하겠다.

4. 결 론

Al₂O₃ 기판에 NbC_xC_{1-x}/Y₂O₃/Ti 층을 스퍼터코팅하여 Al₂O₃/NbC_xC_{1-x}/Y₂O₃/Ti 다층구조를 가지는 시편을 제작하였으며, 이를 열처리한 후 코팅층의 peel off 여부를 관찰한 결과 다음과 결론을 얻었다.

1. NbC_xC_{1-x}/Y₂O₃/Ti 층의 스퍼터링 조건은 두께의 균일성과 코팅속도를 고려하여 5 mtorr, 200W로 결정하였다.
2. NbC_xC_{1-x}/Y₂O₃/Ti 층을 스퍼터코팅한 시편을 950°C에서 3시간 열처리한 후 peel off 테스트한 결과 코팅층의 접합이 유지되는 것으로 파악되었으나, 1000°C에

서 3시간 열처리한 경우에는 x가 0.5 이하인 조성에서 코팅층이 벗겨짐을 관찰할 수 있었다.

3. 이와는 달리 NbC_xC_{1-x}/Y₂O₃ 층만을 코팅한 경우에는 1000°C에서 3시간 열처리한 후에도 코팅층이 벗겨지지 않았다. 따라서 코팅층이 벗겨지는 현상은 코팅층을 통한 Ti의 확산과 관계가 있는 것으로 보인다.

REFERENCES

1. M.D. Thouless, O. Sbaizero and E.Y. Luh, *Mat. Res. Soc. Symp. Proc.* Vol.120, pp 333 (1988).
2. R.R. Kieschke, H.E. Deve, C. McCullough and C.J. Griffin, "Processing of Tow-Based Ti Composites," pp.3, *Recent Advances in Ti Metal Matrix Composites*, Ed. by F.H. Froes, *The Minerals, Metals and Materials Society* (1995).
3. W. Sachse and H.D. Conway, *Mat. Res. Soc. Symp. Proc.* Vol.153, pp.249 (1989).
4. Andris Simanovskis and S. Stolyarova, *Mat. Res. Soc. Symp. Proc.* Vol.239, pp.599 (1992).
5. J.E.E. Baglin, *Mat. Res. Soc. Symp. Proc.* Vol.47, pp.3 (1985)
6. T. Suzuki, H. Umehara and R. Hayashi, *Mat. Res. Soc. Symp. Proc.* Vol.350, pp.59 (1994).
7. Ajay K. Misra, *Mat. Res. Soc. Symp. Proc.* Vol.350, pp.73 (1994).
8. Vijay Gupta, Jun Yuan and Doris Martinez, *J. Am. Ceram. Soc.*, **76**(2) p305 (1993).
9. Robert Beyers, *Mat. Res. Soc. Symp. Proc.* Vol.47, pp. 143 (1985).
10. J.A. DeKock, p90, *A Study of the Interfacial Stability of Ti/Al₂O₃, Ti₅Al/Al₂O₃ and TiAl/Al₂O₃ Composite Materials* (1995).
11. Y.A. Chang, R.R. Kieschke, J. DeKock and M.X. Zhang, "Control of Interfaces in Metal Matrix Composites," *T.M.S. Symp. Proc.*, pp.3 (1994).
12. Y.A. Chang, *Metallur. and Mat. Trans B*, Vol.25B (December), pp.789 (1994)
13. T.S. Oh, R.M. Cannon and R.O. Ritchie, *Acta Metall.*, Vol.36(8) pp.2083 (1988).
14. C. McCullough and R.R. Kieschke, *Mat. Res. Soc. Symp. Proc.* Vol.350, pp 119 (1994).