

Alkali 물질이 포함되지 않은 화학물질을 이용한 Co 합금박막의 무전해도금

김태호 · 윤형진 · 김창구[†]

아주대학교 에너지시스템학부 화학공학전공
443-749 경기도 수원시 영통구 원천동 산5
(2007년 6월 13일 접수, 2007년 7월 6일 채택)

Electroless Plating of Co-Alloy Thin Films using Alkali-Free Chemicals

Tae Ho Kim, Hyeong Jin Yun and Chang-Koo Kim[†]

Department of Chemical Engineering, Division of Energy Systems Research, Ajou University
San 5, Woncheon-dong, Yeongtong-gu, Suwon 443-749, Korea
(Received 13 June 2007; accepted 6 July 2007)

요 약

Alkali 물질이 포함되지 않은 $(\text{NH}_4)_2\text{Co}(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, $(\text{NH}_4)_2\text{WO}_4$, $(\text{NH}_4)_2\text{H}_2\text{PO}_4$ 등의 전구체를 사용하여 구리배선의 보호막 제조를 위한 Co 합금박막의 무전해도금을 수행하였다. pH, Co 전구체 농도, 증착온도 등의 공정변수들의 변화에 대한 Co 합금박막의 두께와 표면형상을 살펴봄으로써 이들 공정변수가 alkali 물질이 포함되지 않은 화학물질로 무전해도금된 Co 합금박막의 특성에 끼치는 영향을 살펴보았다. pH, Co 전구체 농도, 증착온도가 증가할수록 Co 합금박막의 두께가 증가하였고 이는 alkali 물질이 포함된 Co 합금박막의 무전해도금 결과와 비슷하다. SEM(scanning electron microscopy)을 이용한 Co 합금박막의 표면형상 관측 결과, 본 연구에서 사용된 공정조건에서 Co 합금박막의 무전해도금을 위한 적절한 pH와 온도의 범위가 각각 8.5~9.5와 75~85 °C임을 얻었다. 본 연구를 통하여 alkali 물질이 포함되지 않은 화학물질을 이용한 무전해도금으로 구리배선의 보호막 제조용 Co 합금박막의 증착이 가능함을 확인하였다.

Abstract – Electroless plating of Co-alloy thin films as capping layers for Cu interconnection has been investigated using alkali-free precursors such as $(\text{NH}_4)_2\text{Co}(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, $(\text{NH}_4)_2\text{WO}_4$, $(\text{NH}_4)_2\text{H}_2\text{PO}_4$, etc. The characteristics of the Co-alloy thin films were discussed by analyses of the effects of pH, Co-precursor concentration, and deposition temperature on the thickness and surface morphology of the films. The thickness of the Co-alloy thin films increased with increasing pH, Co-precursor concentration, and deposition temperature, similarly to the results of electroless plating of Co-alloy thin films using alkali-containing chemicals. The SEM images of the surface of the Co-alloy thin films showed that the proper ranges of pH and deposition temperature were 8.5~9.5 and 75~85 °C, respectively. This work found a feasibility that Co-alloy thin films as capping layers for Cu interconnection could be electroless plated using alkali-free chemicals.

Key words: Electroless Plating, Co-Alloy Thin Films, Capping Layer, Alkali-Free Chemicals

1. 서 론

반도체 소자의 선폭이 감소함에 따라 금속배선의 저항이 증가하면서, 반도체 배선물질을 기존의 Al 대신 Cu로 대체하는 방법에 대한 관심이 높아지고 있다. Cu는 Al보다 높은 전기전도도를 가지고 있고, 전하이동(electromigration)에 대한 저항이 Al보다 우수하여 선폭이 작아지고 있는 현재 반도체 배선 공정의 추세에 적합한 물질이다[1, 2]. 그러나 Cu는 쉽게 SiO_2 나 Si로 확산하고, Al에 비해 산화가 잘되는 단점이 있다[3, 4]. 이러한 Cu의 단점을 극복하기 위해

Cu 배선 표면에 보호막을 씌우는 방안이 대두되고 있는데, 그 방법으로는 무전해도금(electroless plating)[5], 보호막 물질로는 Co 합금이 주로 연구되고 있다.

무전해도금에 의한 금속의 증착은 환원제(reducing agent)의 산화와 금속 이온의 환원에 의하여 이루어진다. 환원제의 산화를 통해 전자가 공급되고, 그 전자가 금속이온과 결합하여 음극(cathode) 위에 금속의 증착이 이루어진다[5]. 이러한 무전해도금은 공정온도가 낮고 좋은 선택도와 균일한 단차덮힘률(step coverage)을 구현할 수 있다는 장점이 있어서 각종 표면처리 분야에서 연구되어 왔으며[6], 최근에는 반도체 소자 제조 공정에서도 이용되고 있다.

Co 합금은 Cu의 산화 및 확산 방지 효과가 탁월하고, Cu 배선에

[†]To whom correspondence should be addressed.
E-mail: changkoo@ajou.ac.kr

서 접촉면의 저항이 낮아 전체 배선 구조에 영향을 적게 끼치며, 높은 온도에서도 열에 대한 안정성이 뛰어나 Cu 배선의 보호막 물질로 관심을 받고 있다. 전형적인 Co 합금보호막 물질은 Co-난용금속(refractory metal)-P(또는 B)로 구성되어있다. 각각 구성요소의 역할을 살펴보면, Co는 Cu 표면의 산화 및 부식을 방지하고, W 등 난용금속은 역시 Cu의 산화방지 및 Co 합금박막의 열적 안정성을 향상시키며, P(또는 B)는 Co의 결정입계(grain boundary)에 채워져 Cu의 확산 경로를 차단하는 역할을 한다[7, 8].

무전해도금에 의해 증착된 Co 합금으로는 Co(P), Ni-Co(P), Ni(P), Co(W, P), Co(W, B) 등이 보고되었는데 이들 Co 합금의 확산방지막 및 표면보호막으로서의 특성에 대한 연구가 주를 이루었다[6, 7, 9, 10]. 그러나 지금까지 Co 합금박막의 증착을 위한 연구들에서는 전구체로 sodium 물질이 포함되는 화학물질이 이용되고, pH 조절제로 potassium hydroxide(KOH)가 사용되는 등 주로 alkali 물질이 포함된 화학물질이 사용되었다. 그러나 이러한 alkali 물질이 포함된 화학물질에서 발생하는 sodium 이온(Na^+)이나 potassium 이온(K^+)은 SiO_2 층에 침투하여 mobile ionic charge를 형성함으로써 절연막으로서의 SiO_2 의 특성을 악화시키는 것으로 알려져 있다[11]. 따라서 alkali 물질이 포함되지 않은 화학물질을 이용한 Co 합금의 증착에 대한 연구가 필요한데 아직까지 문헌에 보고된 바가 거의 없다.

본 연구에서는 alkali 물질이 포함되지 않은 화학물질을 사용하여 구리배선의 보호막 제조를 위한 Co 합금박막의 무전해도금을 수행하였다. pH, Co 전구체 농도, 증착온도 등의 공정변수들의 변화에 대한 Co 합금박막의 두께와 표면형상을 살펴봄으로써, 각각의 공정변수가 alkali 물질이 포함되지 않은 화학물질로 무전해도금된 Co 합금박막의 특성에 끼치는 영향을 알아보았다.

2. 실험

무전해도금으로 Co 합금박막을 증착하기 위하여 ammonium cobalt sulfate($(\text{NH}_4)_2\text{Co}(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$), ammonium tungstate($(\text{NH}_4)_2\text{WO}_4$), ammonium dihydrogen phosphate($(\text{NH}_4)_2\text{H}_2\text{PO}_4$) 등 alkali 물질이 포함되지 않은 화학물질이 전구체로 사용되었다. 또한 dimethylamine borane(DMAB)과 ammonium citrate가 각각 환원제와 착화제(complexing agent)로 사용되었다. 다른 연구에서는 pH 조절제로 KOH를 사용하였지만[2, 6], 본 연구에서는 tetramethyl ammonium hydroxide(TMAH)를 사용하여 alkali 물질인 potassium 이온의 생성을 최소화하였다. Table 1에 본 연구에서 사용된 여러 가지 화학물질의 농도를 수록하였다.

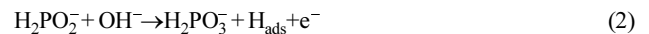
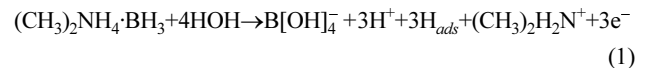
Co 합금박막의 무전해도금은 Cu 시편 위에서 수행되었다. 이 Cu 시편은 p-type(100) Si wafer 위에 PVD(physical vapor deposition)

방식을 이용하여 150 nm의 두께로 증착되었는데, Si와 Cu의 접착성을 좋게 하기 위하여 Cu 증착 전에 20 nm의 Ti가 증착되었다. 기존의 여러 연구에서는 Cu 위에 Co 합금을 증착시키기 위하여 Pd를 촉매로 사용하였으나, 본 연구에서는 별도의 활성화 단계가 필요 없도록 Cu가 자기촉매(self-catalyst)로 사용되었다. 무전해도금을 수행할 때 Pd를 촉매로 사용할 경우, Cu 이외에도 SiO_2 등의 다양한 물질에 대한 Pd의 접착(adhesion) 성질이 좋기 때문에[12], 실제 배선 공정에서 원하지 않는 곳에 Co 합금이 증착될 우려가 있다. 또한 기판이 Pd로 활성화되었을 경우 증착될 박막의 형태(morphology)에 영향을 줄 수도 있다.

무전해도금을 수행하기 위한 용액의 부피는 200 ml이었고, 교반 속도는 960 rpm으로 고정하였다. 용액의 온도는 항온순환수조(JEIO Tech, RW-2025)를 이용하여 65 °C에서 80 °C로 조절하였다. pH는 8.0에서 10.5로 변화시켰으며, 증착시간은 10 초에서 120 초까지 변화시켰다. 박막의 두께는 표면 단차 측정기(surface profiler)로 측정하였고(Tencor, Alpha-step P-10), 시편의 표면형상은 scanning electron microscope(Hitachi, S-4800)으로 관측하였다.

3. 결과 및 고찰

Co 합금박막의 무전해도금에서, 합금박막의 증착에 영향을 주는 요인은 Co 이온(Co^{2+})의 환원반응 메커니즘(mechanism)에서 찾을 수 있다. 본 연구에서 사용된 각종 시약에 의한 Co 이온의 환원반응 메커니즘은 다음과 같다[6, 13].



식 (1)과 (2)의 반응과 같이 DMAB와 hypophosphite 이온(H_2PO_2^-)이 각각 산화하여 전자를 제공하면 이 전자는 Co^{2+} 와 반응하여 식 (3)과 같이 Co로 환원(혹은 증착)된다. 이때, H_2PO_2^- 가 산화되려면 식 (2)와 같이 수산화 이온(OH^-)과 반응해야 한다. 따라서 OH^- 의 농도 변화, 즉 pH의 변화는 Co 합금박막의 증착에 직접적인 영향을 준다. 그리고 식 (3)에 의한 Co의 환원반응은 전자뿐만 아니라 Co^{2+} 농도에 의존하므로 Co 합금박막의 증착은 Co 전구체 농도의 영향을 받는다. 또한 식 (1), (2), (3)과 같은 화학반응의 반응속도상수는 반응이 일어나는 온도와 밀접한 관계를 갖고 있으므로 증착온도도 중요한 변수가 된다. 이처럼 Co 합금박막의 무전해도금에서 Co 합금박막의 증착특성을 살펴보기 위하여 pH, Co 전구체 농도, 증착온도의 변화에 따른 Co 합금박막의 두께와 표면형상을 관찰하였다.

Alkali 물질이 포함된 전구체를 사용한 Co 합금박막의 무전해도금이 안정적으로 진행될 수 있는 pH 범위는 약 8.5~9.5 사이인 것으로 알려져 있다[14]. Alkali 물질이 포함되지 않은 전구체를 사용한 본 연구에서도 pH가 8.0 이하에서는 Co 합금의 무전해도금이 이루어지지 않았다. 본 연구에서는 Pd와 같은 촉매로 기판 표면을 활성화하지 않고 DMAB를 환원제로 사용하여 무전해도금을 수행하였다. 따라서 이론적으로는 환원제의 사용으로 Co 합금이 기판위에 증착될 수 있지만, 용액의 환원력에 있어서 중요한 요인인 pH가 적

Table 1. Compositions of chemicals used in this study for electroless plating of Co-alloy thin films

	Chemicals	Concentration (M)
Co- precursor	$(\text{NH}_4)_2\text{Co}(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	0.00685
W- precursor	$(\text{NH}_4)_2\text{WO}_4$	0.0033
P- precursor	$(\text{NH}_4)_2\text{H}_2\text{PO}_4$	0.00869
Reducing agent	DMAB	0.0594
Complexing agent	Ammonium citrate	0.03289
pH adjustment	TMAH	-
H_2 scavenger	Triton X-100	0.05 g/l

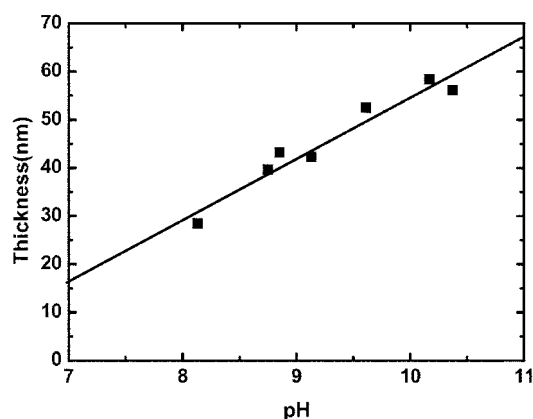


Fig. 1. Thickness of Co-alloy thin films as a function of pH of the solution. Temperature and time of deposition are 80 °C and 30 s, respectively.

정수준에 도달하지 않으면 Co 합금의 무전해도금이 개시될 수 없음을 알 수 있다. 또한, pH가 10.17 이상에서 Co 합금박막의 색깔은 검정색이 되었다. 이러한 조건에서는 Co가 환원되어 증착된 것이 아니라 Co(OH)_2 가 침전한 것으로 볼 수 있는데[15], 이는 높은 pH 범위에서 Co 이온이 환원될 때 주변에 있는 과량의 수산화이온과 결합하기 때문이다. 따라서 본 연구에서는 pH를 8.13에서 10.17로 변화시키면서 alkali 물질이 포함되지 않은 전구체를 사용하여 무전해도금된 Co 합금박막의 특성을 살펴보았다.

무전해도금으로 증착된 Co 합금박막 두께에 대한 pH의 영향을 Fig. 1에 나타내었다. 8.13~10.17의 pH 범위에서, pH가 증가할수록 두께는 증가하였는데, 이는 다음과 같이 설명할 수 있다. pH가 높을수록 OH^- 의 농도가 증가하고, OH^- 의 농도가 증가할수록 식 (2)와 같이 hypophosphite 이온의 산화가 잘 일어나 전자의 발생이 증가한다. 전자농도 증가는 식 (3)과 같은 Co^{2+} 의 환원반응 속도를 증가시켜 Co 합금박막의 두께를 증가시키는 결과를 초래하였다.

pH 변화에 따른 Co 합금박막의 표면형상을 관찰하기 위하여 무전해도금으로 증착한 Co 합금박막의 표면을 SEM으로 관측하여 Fig. 2에 나타내었다. Fig. 2(b)처럼 pH가 9.00 일때는 결정이 어느 정도 성장하여 결정입계가 보이는 것을 확인할 수 있는데 이러한 모양은 8.5~9.5의 pH 범위에서도 관찰할 수 있었다. 그러나 pH가 8.13 일때는 결정이 완전히 성장하지 않았고 결정 조직이 치밀하지 않음을 볼 수 있다(Fig. 2(a)). 한편, pH가 10.17 일때는 결정이 많이 성장하여 결정입계가 더욱 뚜렷하게 보인다(Fig. 2(c)). 그러나 이

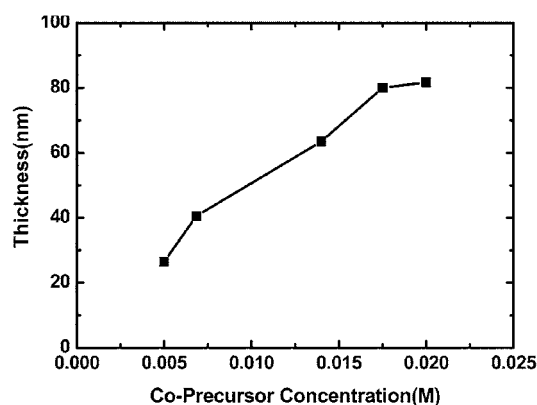


Fig. 3. Thickness of Co-alloy thin films as a function of Co-precursor concentration. Temperature and time of deposition are 80 °C and 30 s, respectively.

와 같이 높은 pH에서 결정이 잘 성장했다 하더라도, pH가 높을 때는 결정입계에 채워져 확산방지막 효과를 줄 수 있는 P가 환원되기 어려워[16] Co 합금의 질을 저하시킬 수 있다. 따라서, alkali 물질이 포함되지 않은 화학물질을 사용한 Co 합금박막의 무전해도금을 위한 적절한 pH는 Co(OH)_2 의 침전이 일어나지 않고 결정이 적절히 성장할 수 있는 8.5~9.5라고 할 수 있다.

Fig. 3은 무전해도금에서 Co 전구체 농도의 변화에 따른 Co 합금박막의 두께를 나타낸다. Co 전구체 농도가 증가할수록 Co 합금박막의 두께가 단조증가함을 볼 수 있는데 이는 식 (3)의 반응식에서 예상했던 결과이다. 이러한 양상은 alkali 계열의 화학물질을 사용한 다른 연구 결과와도 일치한다[6]. Fig. 3을 자세히 보면, Co 전구체 농도가 증가할수록 Co 합금박막 두께의 증가가 둔화됨을 알 수 있다. 본 연구에서는 착화제의 농도를 0.03289 M으로 일정하게 유지하였는데 이 농도는 Co 전구체 농도가 낮을 때에는 Co 이온과 결합하여 착화합물(complex)을 형성하기에 충분하였다. 그러나 Co 전구체 농도가 높을 때에는 Co 이온의 일부가 착화합물을 형성하지 않고 Co(OH)_2 로의 침전을 일으켰고, 이로 인하여 Co 합금박막 두께의 증가 속도가 낮아졌다. 특히 Co 전구체 농도가 0.02 M 이상일 경우에는 Co(OH)_2 로의 침전이 과도하게 일어나서 무전해도금 용액이 불안정해지는 것을 확인할 수 있었다.

무전해도금으로 증착된 Co 합금박막 두께에 대한 증착온도의 영향을 Fig. 4에 도시하였다. Fig. 4에서 볼 수 있는 것처럼, 증착온도가 증가할수록 Co 합금박막의 두께가 단조증가 하였다. Alkali 물

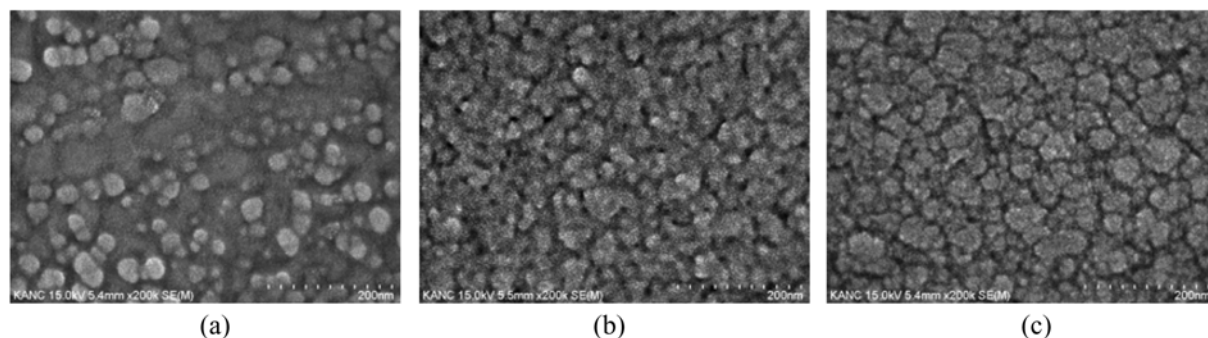


Fig. 2. SEM images Co-alloy thin films electroless plated at various pH of the solution: (a) pH=8.13, (b) pH=9.00, and (c) pH=10.17.

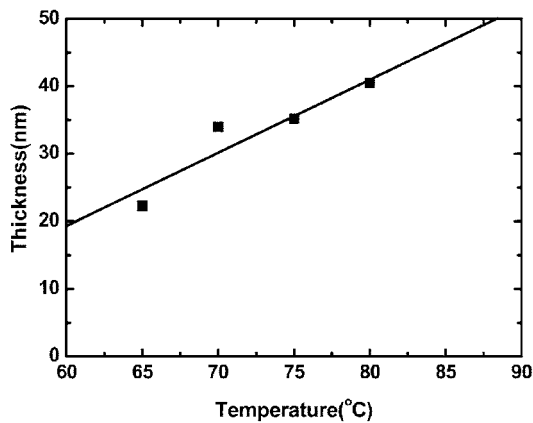


Fig. 4. Thickness of Co-alloy thin films as a function of temperature of the bath. Deposition time is 30 s.

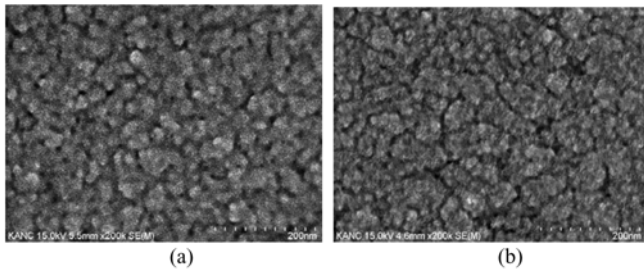


Fig. 5. SEM images of Co-alloy thin films electroless plated at the bath temperature of (a) 75 °C and (b) 80 °C.

질이 포함된 화학물질을 사용한 Co 합금박막의 무전해도금을 위해서는 70~90 °C의 증착온도가 적절한 것으로 알려져 있다[14]. Alkali 물질이 포함되지 않은 화학물질을 사용한 본 연구에서도, 이러한 온도범위에서 Co 합금박막의 적절한 무전해도금 여부를 알아보기 위하여 75 °C와 80 °C에서 무전해도금된 Co 합금박막의 표면을 SEM으로 관측하여 Fig. 5에 나타내었다. 75 °C와 80 °C에서 무전해도금된 Co 합금박막 모두 표면에 결정이 성장하여 결정입계가 형성되었음을 볼 수 있다. 따라서 alkali 물질이 포함되지 않은 화학물질을 사용한 경우에도 무전해도금에 적절한 온도범위가 alkali 물질이 포함된 화학물질을 사용한 경우의 그것과 거의 같다고 할 수 있다.

표면보호막으로서의 Co 합금박막이 그 역할을 수행하기 위해서

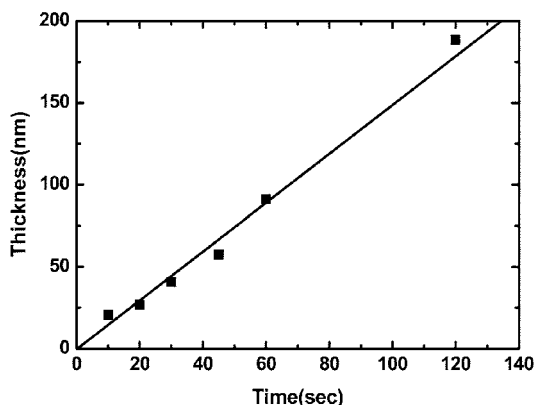


Fig. 6. Thickness of Co-alloy thin films as a function of deposition time. Deposition temperature is 80 °C.

는 합금박막이 Cu 배선의 저항에 영향을 주지 않도록 두께의 조절이 매우 중요하다. Alkali 물질이 포함되지 않은 화학물질을 사용한 Co 합금박막의 무전해도금에 대한 pH, Co 전구체 농도, 증착온도의 영향을 바탕으로 박막성장에 적절한 조건에서 증착시간으로 두께를 조절할 수 있는지 확인하였다. Fig. 6은 무전해도금의 증착시간에 따른 Co 합금박막의 두께를 나타낸다. Co 합금박막의 두께는 증착시간에 대하여 선형적으로 증가하였고, 그 두께도 약 20 nm까지 조절이 가능하였다.

4. 결 론

Alkali 물질이 포함되지 않은 화학물질로 Co 합금 박막의 무전해도금을 수행하여, pH, Co 전구체 농도, 증착온도의 변화에 대한 Co 합금박막의 두께와 표면형상을 관찰하였다. pH가 증가할수록 Co 합금박막의 두께가 증가하였고, 표면형상 관측을 통하여 alkali 물질이 포함되지 않은 화학물질을 사용한 Co 합금박막의 무전해도금을 위한 적절한 pH가 8.5~9.5임을 확인하였다. Co 전구체 농도와 증착온도가 증가할수록 Co 합금박막의 두께도 단조증가 하였고, 이는 alkali 물질이 포함된 화학물질을 사용하여 무전해도금된 Co 합금박막의 결과와 비슷하다. 이와 같이 alkali 물질이 포함되지 않은 화학물질을 사용한 Co 합금박막의 무전해도금에 대한 pH, Co 전구체 농도, 증착온도의 영향을 바탕으로 박막성장에 적절한 조건을 확보하였고, 이 조건에서 증착시간의 변화로 Co 합금박막의 두께를 20 nm까지 조절할 수 있었다.

감 사

본 연구는 한국과학재단 특정기초연구사업(R01-2006-000-11264-0)과 Brain Korea 21 project의 지원으로 수행되었습니다.

참고문헌

1. Mitchell, B. S., *An Introduction to Materials Engineering and Science for Chemical and Materials Engineers*, John Wiley & Sons, Inc., New York, NY(2004).
2. Shacham-Diamand, Y., Sverdlov, Y. and Petrov, N., "Electroless Deposition of Thin-Film Cobalt-Tungsten-Phosphorus Layers Using Tungsten Phosphoric Acid for ULSI and MEMS Applications", *J. Electrochem. Soc.*, **148**(3), C162-C167(2001).
3. Wang, S. Q., "Barriers against Copper Diffusion into Silicon and Drift through Silicon Dioxide", *MRS Bull.*, **19**(8), 30-40(1994).
4. Gao, W., Gong, H., He, J., Thomas, A., Chan, L. and Li, S., "Oxidation Behavior of Cu Thin Films on Si Wafer at 175-400", *Materials Letters*, **51**(1), 78-84(2001).
5. Paunovic, M. and Schlesinger, M., *Fundamentals of Electrochemical Deposition*, John Wiley & Sons, Inc., New York, NY(1988).
6. Petrov, N., Sverdlov, Y. and Shacham-Diamand, Y., "Electrochemical Study of the Electroless Deposition of CoP and CoWP Alloys", *J. Electrochem. Soc.*, **149**(4), C187-C194(2002).
7. Einati, H., Bogush, V., Sverdlov, Y., Rosenberg, Y. and Shacham-Diamand, Y., "The Effect of Tungsten and Boron on the Cu Barrier and Oxidation Properties of Thin Electroless Cobalt-Tungsten-Boron Films", *Microelec. Eng.*, **82**, 623-628(2005).

8. Shacham-Diamand, Y. and Lopatin, S., "Integrated Electroless Metallization for ULSI", *Electrochim. Acta*, **44**(21-22), 3639-3649 (1999).
9. Huang Y. and Cui F., "Effect of Complexing Agent on the Morphology and Microstructure of Electroless Deposited Ni-P Alloy", *Surface & Coatings Technology*, **201**, 5416-5418(2007).
10. Liu, W., Chen, W., Tsai, T., Hsieh, S. and Chang S., "Effect of Nickel on the Initial Growth Behavior of Electroless Ni-Co-P Alloy on Silicon Substrate", *Appl. Surf. Sci.*, **253**(8), 3843-3848(2007).
11. Wolf, S. and Tauber, R. N., *Silicon Processing for the VLSI Era Volume 1-Process Technology*, 2nd ed., Lattice Press, Sunset Beach, CA(2000).
12. Chang, S. Y., Wan, C. C., Wang, Y. Y., Shih, C. H., Tsai, M. H., Shue, S. L., Yu, C. H. and Liang, M. S., "Characterization of Pd-Free Electroless Co-Based Cap Selectively Deposited on Cu Surface via Borane-Based Reducing Agent", *Thin Solid Films*, **515**(3), 1107-1111(2006).
13. Sverdlov, Y. and Shacham-Diamand, Y., "Electroless Deposition of Co(W) Thin Films", *Microelec. Eng.*, **70**, 512-518(2003).
14. Gambino, J., Wynne, J., Gill, J., Mongeon, S., Meatyard, D., Lee B., Bamnolker, H., Hall, L., Li, N., Hernandez, M., Little, P., Hamed, M., Ivanov, I. and Gan, C. L., "Self-aligned Metal Capping Layers for Copper Interconnects Using Electroless Plating", *Microelec. Eng.*, **83**, 2059-2067(2006).
15. Cotton, F. A., Wilkinson, G. and Gaus, P. L., *Advanced Inorganic Chemistry: A Comprehensive Text*, 4th ed., John Wiley, John Wiley & Sons, Inc., New York, NY(1980).
16. Antonelli, S. B., Allen, T. L., Johnson, D. C. and Dubin, V. M., "Crystallization Behavior of Ni-P Alloy Films on Co and Cu Seed Layers", *J. Electrochem. Soc.*, **152**(9), J120-J124(2005).