

새로운 선택적 비어 충전 방법에 관한 연구

A Study on the New Selective Via Plugging Technique

김 병 윤⁰, 김 영 성, 주 승 기

요약

초고집적회로의 배선 금속으로 사용되는 알루미늄 합금은 치밀한 표면 산화막 때문에 화학증착법에 의하여 비어를 선택적으로 충전하기 힘들다. 본 연구에서는 기저층을 이용하여 비어에 선택적으로 화학증착함으로써 평탄화를 이루는 새로운 방법을 제안하였다. 알루미늄, 구리 등의 배선 금속, 팔라듐, 코발트 등의 금속, 기타 타이타늄 질화물 등의 기판에 대하여 화학증착 알루미늄의 특성과 실리콘 산화물간의 선택성을 평가하였으며 팔라듐, 코발트, 타이타늄 질화물 등을 기저층으로 사용한 경우에 낮은 비저항과 안정적인 선택적 비어 충전을 이룰 수 있었다.

1. 서 론

반도체 제조 공정에서 금속선 형성 공정은 알루미늄과 이의 합금을 스퍼터링법에 의해 형성해 왔다. 그러나 스퍼터링과 같은 물리증착법은 초고집적소자(ULSI) 시대에서 요구되는 큰 종횡비와 작은 직경을 지닌 접촉창(contact)이나 비어(via)를 신뢰성 있게 충전하기 힘들며 다층 배선을 위한 평탄화를 이루기 어렵다.^[1-2] 이를 해결하기 위해서 금속 유기화합물을 이용하는 화학증착법에 의한 금속선 형성이 활발히 연구되고 있다. 금속 화학증착법은 등각 계단 도포성(conformal step coverage)을 가지며 선택 증착이 가능하므로 미세한 접촉창이나 비어에 선택적으로 충전함으로써 다층 금속선 형성에 유리한 평탄화를 쉽게 이룰 수 있다.^[1-3]

비어의 선택 충전은 배선 금속과 절연막간의 선택성을 이용하는데 배선 금속으로 주로 사용되는 알루미늄과 같은 금속은 상온에서 표면 산화물이 쉽게 형성되어 실리콘 산화물과 선택성이 떨어지는 문제점이 있다. 이를 해결하기 위해 에칭 가스를 이용하여 금속의 표면 산화물을 제거하려는 노력이 있었다.^[4] 그러나 이 경우에 잔류 가스에 의해 선택성 저하나 금속 배선 부식의 우려가 있고 선택성을 확보하기 위해서는 기타 전처리가 수반되어야 하는 단점이 있다. 따라서 본 연구는 배선 금속의 표면 산화물을 제거하는 대신에 그림 1.에서 보는 바와 같이 배선 금속 위에 상온에서 쉽게 표면 산화물을 형성하

지 않는 재료를 기저층으로 얇게 형성함으로써 기저층과 절연층간의 선택성을 이용하여 비어창 평탄화를 이루는 새로운 알루미늄 화학증착 공정을 제안하였으며 그 가능성에 대해 연구하였다.

2. 실험 방법

본 실험에 사용된 실험 장치는 단일 웨이퍼에 저압 화학증착 장치로 시편 장입을 위한 교환실(Load-Lock)이 부착되어 있으며 가스 라인 및 증착벽은 증착원의 응집을 방지하기 위하여 가열하였다. 화학증착 알루미늄 증착원으로는 TIBA (TriIsoButyl - Aluminum)를 항온조에서 기화시켜 증착조 내로 유입시켰으며 반송 가스는 사용하지 않았다. 여러 가지 금속 기판은 실리콘 산화물 기판 위에 스퍼터링법에 의하여 증착 하여 준비하였으며 필요에 따라 그림자 마스크(shadow mask)를 이용하여 실리콘 산화물 기판 일부에만 형성시켰다. 비어 구조의 시편은 실리콘 산화물 기판 위에 스퍼터링법으로 형성한 기저층 위에 ECR 실리콘 산화막을 형성하고 사진 식각법에 의해 비어창(via hole)을 형성하여 준비하였다. 시편의 비저항은 표면 굴곡 측정 장치(surface profiler) 및 단면 SEM 관찰에 의해 구한 박막의 두께와 4탐침법에 의하여 구한 면저항으로부터 구하였다.

3. 실험 결과 및 고찰

1) 알루미늄 박막 형성 조건

본 실험에서 얻어진 화학증착 알루미늄 박막의 증착 조건 및 특성을 표 1. 에 간단히 정리하였으며 자세한 결과는 다른 문헌에 보고하였다.^[6] 실리콘 기판에 형성된 알루미늄 박막의 비저항은 덩어리 알루미늄 비저항 $2.7 \mu\Omega\text{cm}$ 에 근접하였고 탄소가 없는 순수한 알루미늄 박막을 얻을 수 있었다.

2) 기판에 따른 증착 특성

기판에 따른 화학증착 알루미늄의 특성을 비교하기 위해 여러 가지 기판에 전면 증착 하여 비교하였다. 알루미늄 기판의 경우 화학증착 알루미늄이 심한 섬형(Island) 증착 특성을 보이며 연속된 박막을 이루지 못하여 화학증착 알루미늄 덩어리 사이로 알루미늄 기판이 관찰된다. 구리 기판의 경우에는 화학증착한 알루미늄이 연속적인 박막을 이루며 비교적 평탄한 표면을 가지나 비저항이 $13.5 \mu\Omega\text{cm}$ 으로 크게 나타나는 것으로 보아 치밀한 막을 이루지 못했음을 알 수 있다. 이에 반하여 팔라듐, 코발트 등의 금속과 타이타늄 질화물 기판의 경우에는 비교적 평탄한 표면과 $5 \sim 7 \mu\Omega\text{cm}$ 의 낮은 비저항을 보이는 치밀한 화학증착 알루미늄이 얻어졌다.

3) 기판에 따른 선택 증착 특성

그림 2.에는 팔라듐//실리콘 산화물, 코발트//실리콘 산화물, 구리//실리콘 산화물, 알루미늄//실리콘 산화물, 실리콘 기판에 대하여 알루미늄 화학증착 하여 광학 현미경으로 관찰한 결과를 나타내었다. 팔라듐, 코발트 등의 기판 위에서는 화학증착 알루미늄이 치밀하게 형성되고 실리콘 산화물 위에는 형성되지 않는 완전한 선택성이 나타났다. 또한 타이타늄 질화막에도 유사한 경향을 보였다. 따라서 팔라듐, 코발트, 타이타늄 질화물 등을 기저층으로 이용하면 비어창만을 선택 화학증착 충전이 가능하며 평탄화된 비어를 얻을 수 있다. 이에 반하여 알루미늄//실리콘 산화물 기판의 경우에는 TIBA 압력 200 mtorr, 증착 시간 10 ~ 40분, 온도 180 °C ~ 230 °C에서 알루미늄 화학증착한 결과 선택성이 전혀 나타나지 않았으며 구리//실리콘 산화물 기판의 경우도 TIBA 압력 200 mtorr, 증착 시간 40분, 온도 190 °C ~ 230 °C에서 선택성을 나타내지 않았다.

TIBA를 열분해 하여 알루미늄 박막을 화학증착법으로 형성할 때 율속반응은 β -hydride 제거 반응이며 기판에 따라 이 반응의 핵생성 활성화 에너지 차이가 있어 핵생성 속도가 다르다고 알려져 있다.^[6-7] 그림 3.에는 온도에 따른 핵생성 속도를 여러 가지 기판에 대하여 나타내었다. 즉 금속 기판의 핵생성 활성화 에너지는 1 eV^[8] 미만으로 실리콘 산화물 기판에서의 핵생성 활성화 에너지 4 eV^[5]에 비하여 낮아 증착 온도가 낮을수록 핵생성 속도의 차이가 상대적으로 커지고 선택적 증착이 가능하다.^[5,7] 표면 산화물을 쉽게 형성하지 않는 팔라듐, 코발트 등의 기판은 금속 기판의 낮은 핵생성 에너지를 가지게 되어 선택 증착이 가능한 것으로 생각되며 알루미늄 기판의 경우는 알루미늄 표면에 생기는 표면 산화물^[3,5,9]에 의해서 실리콘 산화물과 같이 높은 핵생성 활성화 에너지를 가지게 되어 심한 섬형 증착 특성을 보이며 선택성도 상실되는 것으로 생각된다.

4. 결론

기저층을 이용하여 비어를 선택적 화학증착 하여 평탄화 이루는 새로운 방법을 제안하였다. 배선 금속, 팔라듐, 코발트, 타이타늄 질화막 등의 기판에 알루미늄 박막을 화학증착 특성을 비교 평가하였으며 이중 팔라듐, 코발트, 타이타늄 질화물 등의 기판 위에서는 치밀하고 낮은 비저항을 가지는 화학증착 알루미늄을 얻을 수 있었으며 실리콘 산화물과의 선택성을 보였다. 그러므로 알루미늄과 같이 쉽게 표면 산화물을 형성하는 물질을 배선 금속으로 사용하는 경우에도 기저층을 배선 금속 위에 얇게 형성함으로써 안정적인 비어창 선택 충전을 이룰 수 있으며 평탄화된 비어를 얻을 수 있다.

[감사의 글]

본 연구는 과학재단의 우수연구센터인 서울대학교 신소재 박막 가공 및 결정성장 연구센터의 연구비 지원으로 수행되었습니다. 또한 상공부, 체신부, 과학기술처에서 시행한 차세대 반도체 기반기술 개발사업의 연구 결과입니다.

[참고 문헌]

[1] M.L.Green et al., J. Metals., p63, 1985.
 [2] R.A.Levy et al., J. Electrochem. Soc., 131(9), p2175, 1984.
 [3] Y.Kawano et al., Adv. Metallization for ULSI appl. abstract, p317, 1993
 [4] J.Kanicki et al., Plasma Processing, MRS, p167, 1985.
 [5] G.S.Higashi et al., J. Vac. Sci. Tech., B8, p103, 1990.
 [6] K.-I.Lee, et al., J. Electrochem. Soc., 139(12), p3578, 1992.
 [7] B.E.Bent, et al., J. Am. Chem. Soc., 111, p1634, 1989.
 [8] K.P.Cheung et al., VMIC, p303-309, 1990.
 [9] D.A.Mantell, J. Vac. Sci. Tech., A9(3), p1045, 1991.

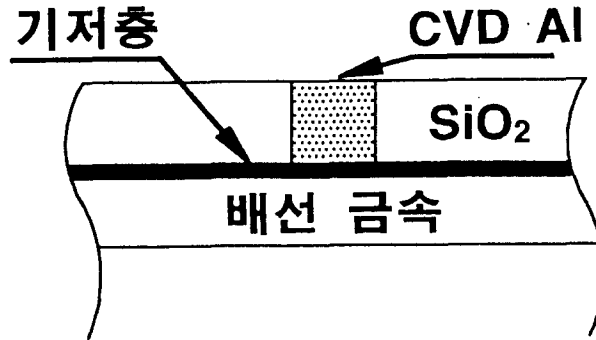


그림 1. 기저층을 이용한 새로운 선택비어층전법

표 1. 알루미늄 화학증착 조건 및 특성

공정조건	MO source	TIBA (TriisoButylAluminum)
	기판 온도	180 °C ~ 250 °C
증착 압력	~ 200 mtorr	
특성	증착률	50 ~ 1000 Å/min
	비저항	~ 3 μΩ-cm
	순도	< ESCA limit

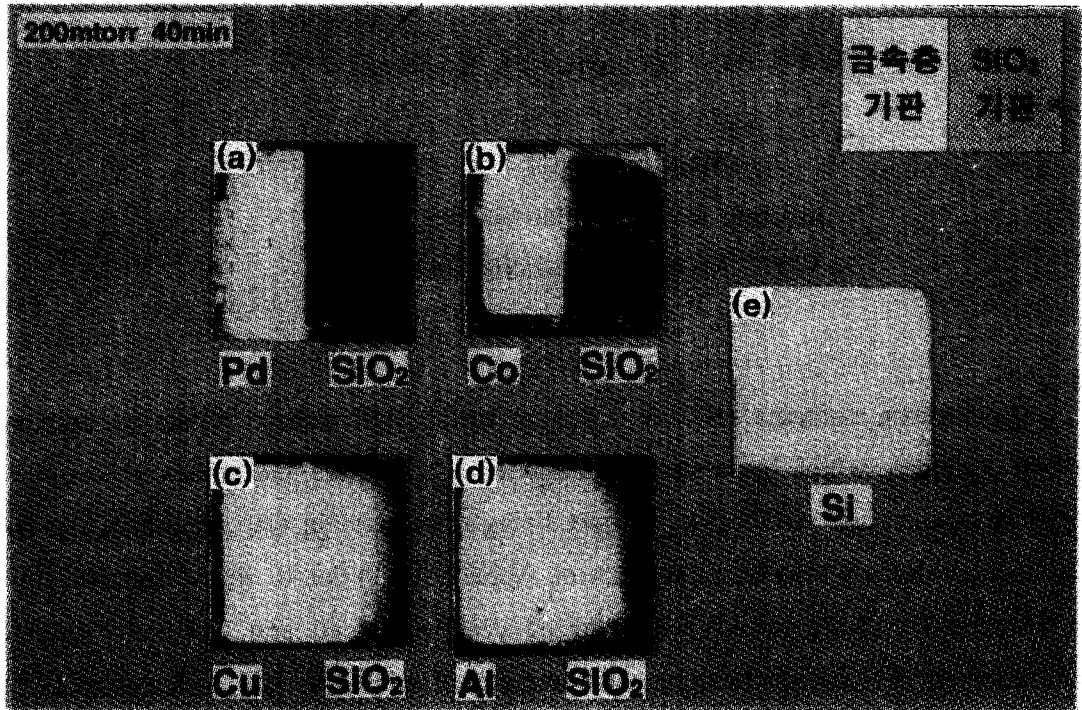


그림 2. 화학증착 알루미늄의 금속//실리콘 산화물, 실리콘 기판 증착 특성
 (a) 팔라듐//실리콘 산화물 (b) 코발트//실리콘 산화물
 (c) 구리//실리콘 산화물 (d) 알루미늄//실리콘 산화물
 (e) 실리콘 기판

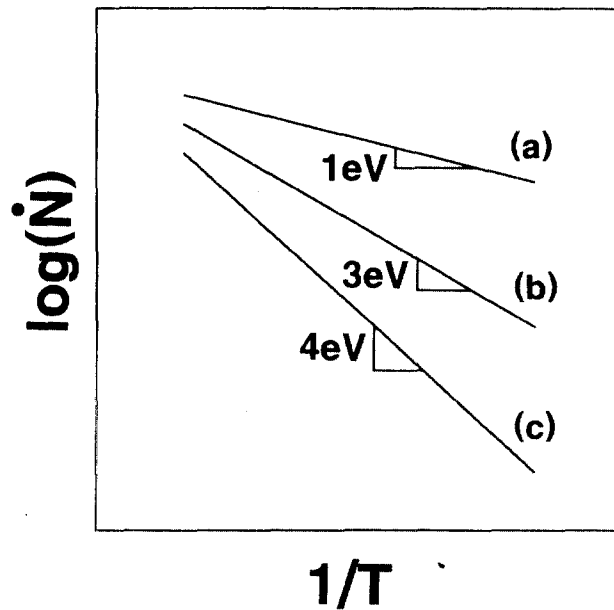


그림 3. 온도에 따른 핵생성 속도
 (a) 금속 기판 (b) 실리콘 기판 (c) 실리콘 산화물 기판