

## 감광성 BCB를 이용한 절연막층에서의 비아형성

### Via Formation in Dielectric Layers Made of Photosensitive BCB

주철원\*, 임성훈\*\*, 한병성\*\*\*

(Chul-Won Ju\*, Sung-Hun Lim\*\*, Byung-Sung Han\*\*\*)

#### Abstract

Via for achieving reliable fabrication of MCM(Multichip Module) substrate was formed on photosensitive BCB layer. The MCM substrate consists of photosensitive BCB(Benzocyclobutene) interlayer dielectric and copper conductors. In order to form the vias in the photosensitive BCB layer, the process of forming the BCB layer and its via forming plasma etch using  $C_2F_6/O_2$  gas were evaluated. The thickness of the BCB layer after hard bake was shrunk down to 40% of the original. The resolution of vias formed on the BCB was  $15\mu m$  and the slope after develop was 85 degree. AES analysis was done on two vias, one is etched in  $C_2F_6/O_2$  gas and the other is not etched. On the via etched in  $C_2F_6/O_2$ , native C was detected and the amount of native C was reduced after Ar sputter. On the via not etched in  $C_2F_6/O_2$ , organic C was detected. As a result of AES, BCB residue was not removed by Ar sputter, so plasma etch is necessary for achieving reliable vias.

**Key Words** : multichip-module, BCB, via, descum

#### 1. 서론

반도체소자의 속도 및 집적도가 높아짐에 따라 소자간의 배선연결 상태에 따른 전달지연시간, 크로스토크(crosstalk) 등이 시스템의 고속화를 저하시키는 요인이 되고있다. 소자간의 전달 지연시간을 줄이기 위해서는 고밀도 패키징 기술, 높은 배선밀도, 및 저 유전 절연막을 사용하는 기판 제조 기술이 필요하다. 현재 저유전 절연물질로서 여러종류의 폴

리머가 개발되고 있는데, 그 중에서 감광성 BCB (Photosensitive Benzocyclobutene)를 사용하면 공정 수를 줄일 수 있고 기판 제조비용은 저렴하며[1-2] 수율(yield)은 향상되기 때문에[3] 다층기판의 절연막으로서 건식식각(dry etch) 물질에 비하여 선호되고 있다. 감광성 BCB는 기존 반도체공정의 이용가능, 낮은 흡습성[4], 높은 평탄화율(>90%), 낮은 경화온도, 높은 열안정성, 낮은 유전상수(2.7) 및 감광성의 특성으로 인하여 멀티칩모듈(MCM:Multichip Module)[5], 평판 디스플레이[6], 화합물 반도체소자 등에 널리 사용되고 있으며, 최근에는 스트레스 버퍼(stress buffer), 보호막(passivation)[7] 등의 활용이 연구되고 있다. BCB를 절연막으로 사용하는 멀티칩 모듈 기판에서 비아 홀은 사진식각(lithography) 공정으로 형성되는데 BCB는 일반 감광막보다 점도가 훨씬 높고 코팅두께가 10-12um로 두껍기 때문에 노광 및 현상 조건을 조절하기가 매우 어렵워 비아 홀

\* : 한국전자통신연구원  
(대전광역시 유성구 가정동 161  
Fax : 042-860-6183  
E-mail : cwju@etri.re.kr)

\*\* : 전북대학교 전기공학과 박사과정  
\*\*\* : 전북대학교 전기공학과 교수  
2000년 11월 21일 접수, 2001년 2월 23일 1차심사완료  
2001년 3월 31일 2차심사완료, 2001년 4월 9일 3차심사완료

이 완전히 형성되지 않거나 비아홀 밀면에 BCB 잔류물이 남게되며, 현상 및 soft bake 후 BCB두께는 코팅시에 비하여 많이 감소하여 절연막 두께를 조절하기가 어렵다. 본 논문에서는 멀티칩모듈 기판인 실리콘 웨이퍼 위에 BCB를 코팅한 후 시험패턴을 제작하여 BCB의 해상도(resolution) 및 패턴 slope를 측정하였고, BCB코팅 두께와 현상 및 bake후의 두께 변화를 비교하였으며, 플라즈마 식각 특성을 분석하였으며 비아홀 형성 후  $C_2F_6/O_2$ 를 이용한 플라즈마 식각을 수행한 시료와 플라즈마 식각 후 연속공정으로 Ar 스퍼터를 수행한 시료를 각각 AES로 분석하여 플라즈마 식각 및 Ar스퍼터가 비아홀에 미치는 영향을 고찰하였다.

## 2. 실험

실험용 기판(substrate)은 비저항 1~25  $\Omega$ -cm, 결정면 <100>인 p형 5인치 실리콘 웨이퍼를 사용하였으며 시험패턴은 다음과 같은 공정순서로 제작하였다. 먼저 웨이퍼 위의 모든 먼지와 불순물을 제거하기 위하여 실리콘 웨이퍼를 조성비 4:1의  $H_2SO_4/H_2O_2$  용액에 담근 후, 20:1 HF에 담구어 세척하고 저압 화학증착(LPCVD:Low Pressure Chemical Vapor Deposition) 방식으로 산화막을 5000Å 증착한 후 스퍼터(sputter) 방법으로 Ti 및 Cu를 각각 0.1 $\mu$ m, 0.25  $\mu$ m 증착하였다. 다음 공정으로 spin coater에서 웨이퍼위에 정지상태에서 접착계면제(adhesion promoter) 3ml를 웨이퍼 위에 떨어뜨린 후 3000rpm에서 50sec 회전시켜 건조시킨 다음, 감광성 폴리머인 BCB 5ml를 정지상태에서 웨이퍼 위에 떨어뜨린 후 3000rpm에서 220sec 동안 회전시켜 웨이퍼 위에 13.5 $\mu$ m의 균일한 두께로 도포하고 hot plate를 사용하여 90°C에서 90초 동안 건조시켰다. 건조된 웨이퍼는 노광장비인 EV(Electrovision) contact aligner에서 hard contact mode로 170mJ의 에너지로 노광시킨 다음, dip 방식을 사용하여 현상액 DS2100에 넣어 15분 동안 현상하고  $N_2$  gun을 사용하여 건조시킨 다음, hot plate를 사용하여 90°C에서 60초 동안 건조시켜 잔류 현상액을 건조시켰다. 이후 진공 oven 에서 210°C에서 50분동안 cure 하였다.  $C_2F_6/O_2$ 를 이용한 플라즈마 식각은 10m torr, 300°C에서 상하 마그네트 전류 90A/90A, 2.45GHz의 마이크로 웨이브를 1KW 인가하였으며 plasma 식각 특성을 고찰하기 위하여, 웨이퍼와 플라즈마 형성대역 사이의 거리(h)를 50mm, 60mm, 70mm, 80mm로 변화시켰으며, Ar/ $O_2/C_2F_6$  비율은 40/80/50sccm,

40/80/100 sccm으로 변화시켰으며, Ar 스퍼터를 200W에서 2분 하였다.

## 3. 결과 및 고찰

그림 1은 dip 방식의 현상시 회전속도에 따른 코팅, 현상, soft bake 및 hard bake후 두께 변화를 나타낸 것이다. 그림 1에서 보듯이 BCB의 두께는 현상과정에서 초기두께의 33-37%가 감소되고, soft bake과정에서 3-5%정도가 감소되어 최종적으로 코팅두께의 38-40% 정도가 감소되는 것을 알 수 있다.

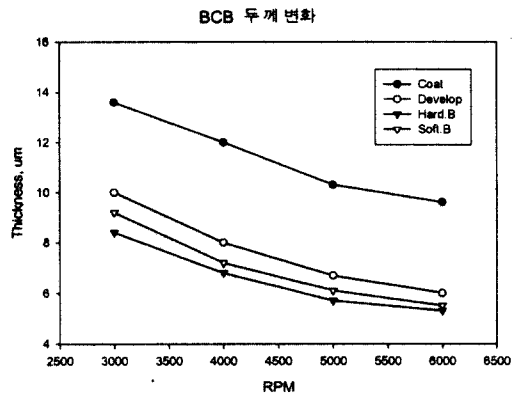


그림 1. 공정 및 스팀속도에 따른 BCB 두께 변화.

Fig. 1. BCB thickness variation with process and spin speed.

그림 2는 BCB의 해상도를 관찰하기 위하여 제작한 선폭 10, 15 $\mu$ m 인 시험 패턴이다. 그림 2에서 선폭 10 $\mu$ m 인 패턴에서는 패턴 밑바닥에 BCB 잔류물이 소량 있는 것을 알 수 있고, 선폭 15 $\mu$ m 인 패턴은 잔류물 없이 패턴형성이 잘 되었다. 10 $\mu$ m 패턴의 밑바닥 잔류물은 이후 플라즈마 식각공정에서 제거될 수도 있지만, 안정적으로 현상과정에서 BCB의 해상도는 15 $\mu$ m 인 것으로 나타났다. 또한 BCB 패턴 형성시 slope는 그림 3과 같이 85도 이상으로 slope 특성은 좋았다. plasma 식각특성은  $O_2/C_2F_6$ 비율이 80/50sccm로 일정하고 h가 각각 50mm, 60mm일 때 etch rate는 각각 675A/min 및 872A/min이었으나 h가 60mm인 경우는 플라즈마 상태가 불안정하였다. h가 50mm로 일정할 때  $O_2/C_2F_6$  비율이 각각 80/50sccm, 80/100sccm 일 때 etch rate가 각각 675 A/min 및 1012A/min 이었으며, h가 70mm이상에서

는 플라즈마 균일도가 나빠서 실제 공정에는 사용하지 못하였다.

(a) (b)

그림 2. BCB 패턴의 SEM 사진.

(a) 선폭 15 $\mu$ m (b) 선폭 10 $\mu$ m.

Fig. 2. SEM showing BCB pattern,

(a) Width 15 $\mu$ m (b) Width 10 $\mu$ m.

그림 3. BCB 패턴의 단면 SEM 사진.

Fig. 3. Cross sectional SEM showing BCB pattern.

그림 4는 BCB층에 비아 홀을 형성하고 플라즈마 식각한 비아홀의 SEM 사진으로, 비아 밑면에는 잔류물은 없으며 비아 slope는 76도로 나타나 Ti/Cu를 스퍼터할 때 비아 측면에 증착이 잘될 것으로 판단된다.

(a) (b)

그림 4. 비아홀의 SEM 사진 (a) 평면 (b) 단면.

Fig. 4. SEM showing via hole, (a) Plane surface (b) Cross section.

그림 5는 Cu 금속배선 위에 코팅된 BCB층에 비아 홀 형성후, C<sub>2</sub>F<sub>6</sub>/O<sub>2</sub> 가스로 플라즈마 식각한 후 AES로 분석한 그림이다. 그림 5에서 C 및 F가 소량 검출되고 O 및 Cu가 검출되었으며 C의 양은 Cu에 비하여 적다. 이때 검출된 C는 native C이고, F 및 O는 플라즈마 식각시 사용된 가스로부터 표면에 흡착된 것이고, Cu는 비아 밑면에 노출된 금속배선의 C에서 검출된 것이다. 그림 6은 C<sub>2</sub>F<sub>6</sub>/O<sub>2</sub> 가스로 플라즈마 식각한 비아를 12초동안 Ar 스퍼터하여 AES로 분석한 그림이다. Ar 스퍼터후 그림 6에서 C는 일부가 제거되었으며, O는 검출량이 다소 감소된 반면 F는 검출량이 조금 증가하였다. 그림 5, 6 으로부터 C<sub>2</sub>F<sub>6</sub>/O<sub>2</sub> 가스로 플라즈마 식각한 비아 밑면의 표면 상태는 표면 상층부에는 O가 많이 존재하며, F는 표면 하층부에 많이 존재하여 Ar 스퍼터후 O의 검출량은 줄어들고, F의 검출량은 증가된 것으로 판단되며 C<sub>2</sub>F<sub>6</sub>/O<sub>2</sub> 가스로 플라즈마 식각한 후 Ar

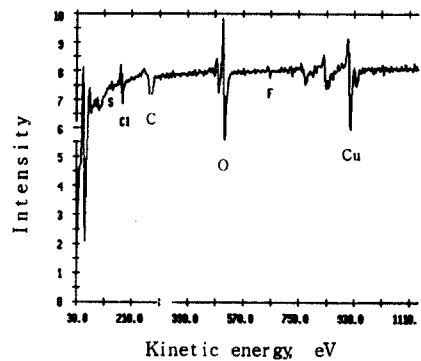


그림 5. C<sub>2</sub>F<sub>6</sub>/O<sub>2</sub>로 에칭된 비아의 AES 분석.

Fig. 5. AES analysis of via etched in C<sub>2</sub>F<sub>6</sub>/O<sub>2</sub> (as received).

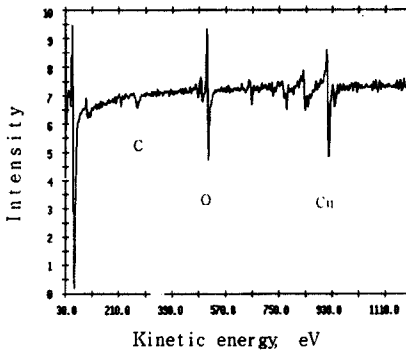


그림 6. C<sub>2</sub>F<sub>6</sub>/O<sub>2</sub>로 에칭된 비아의 AES 분석 (Ar sputter 12 sec 후).

Fig. 6. AES analysis of via etched in C<sub>2</sub>F<sub>6</sub>/O<sub>2</sub> (after Ar sputter 12sec).

스퍼터하면 비아 표면의 native C는 제거되는 것을 알 수 있다.

그림 7은 비아홀 형성후 C<sub>2</sub>F<sub>6</sub>/O<sub>2</sub> 가스로 플라즈마 식각을 하지 않고 AES로 분석한 그림이다. 그림 7에서 C는 많은 양이 검출되었는데 이것은 native C가 아니고 BCB 잔재물인 유기물 C이다. O는 소량 검출되었는데 이것은 플라즈마 식각을 하지 않았으므로 native O만 검출되었기 때문이며 Cu가 검출되지 않았는데 이것은 비아홀을 BCB 잔재물이 덮고 있기 때문이다. 이 결과로 부터 C<sub>2</sub>F<sub>6</sub>/O<sub>2</sub> 가스로 플라즈마 식각을 하지 않은 비아는 BCB 잔재물이 표면을 덮고 있음을 알 수 있다.

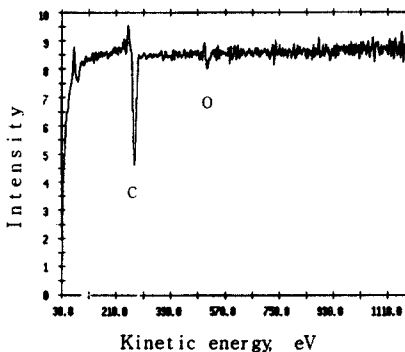


그림 7. C<sub>2</sub>F<sub>6</sub>/O<sub>2</sub> 에칭안한 비아의 AES 분석.

Fig. 7. AES analysis of via no etched in C<sub>2</sub>F<sub>6</sub>/O<sub>2</sub> (as received).

#### 4. 결론

감광성 BCB를 절연막으로 사용하는 멀티칩모듈 기판에서 비아를 형성하는 공정과 비아 형성후 C<sub>2</sub>F<sub>6</sub>/O<sub>2</sub> 가스를 이용한 플라즈마의 식각효과를 분석한 결과 BCB의 두께는 현상과정에서 코팅두께의 33-37%가 감소되고, soft bake 과정에서 3-5% 정도가 감소되어 최종적으로 38-40% 정도의 두께손실이 발생하였다. 따라서 BCB 코팅시 두께손실을 고려하여 코팅 속도를 조절하여야 한다. 또한 BCB의 해상도는 15 $\mu$ m인 것으로 측정되었으며 패턴 형성시 slope는 85도 이상으로 slope 특성이 좋아 선폭 및 간격이 각각 25 $\mu$ m인 현재의 설계사양(design rule)보다 작은 20 $\mu$ m의 패턴을 형성할 수 있을 것으로 판단된다. BCB층에 비아 형성후 플라즈마 식각을 하지 않은 시편을 as-received 상태에서 AES로 분석한 결과 유기물 성분의 C가 많이 검출되었으며, C<sub>2</sub>F<sub>6</sub>/O<sub>2</sub> 가스를 사용하여 플라즈마 식각을 한 시편을 as-received 상태에서 AES로 분석한 결과, BCB의 잔재물인 유기물 성분의 C는 검출되지 않고 native C만 검출되었으며, 이 시편을 Ar 스퍼터한 결과 native C도 제거되었다. 따라서 감광성 BCB를 절연막으로 사용한 멀티칩모듈 기판 제작공정에서 비아 형성후 플라즈마 식각을 해야 하며 추가적으로 Ar 스퍼터를 수행하는 것이 바람직하다.

#### 참고 문헌

- [1] T.Tessier and E.Myszka, "Approaches to Cost reducing MCM-DSubstrate", Proceedings of 43<sup>rd</sup> ECTC, pp.570-578, June, 1993.
- [2] R.H.Heistand, D.C.Frye, D.C.Burdeaux, J.N.Carr, and P.E.Garro, "Economic Evaluation of deposited Dielectric MCM Manufacturing Cost", Proceedings of the International Conference on Multichip Modules, ISHM/IEPS, pp.441-450, April, 1993.
- [3] P.E.Garro and I.Turlik, "Materials of Construction: Substrate, Dielectric, Metallization", Thin Film Multichip Modules, G.Messner, I.Turlik, J.W.Baldeand P.E. Garrou, editors, ISHM Press, pp.92-164, 1992.
- [4] H.Pranjoto and D.D.Denton, "Moisture Uptake of BisBenzocyclobutene(BCB) Films for Electronic Packaging Applications", MRS Sympo-

sium Proceedings, Vol.203, pp295-302, Nov., 1990.

- [5] A.J.G.Strandjord, Y.Ida, P.E.Garrou, W.B. Rogers., S.L.Cummings, and S.R.Kisting, "MCM-D Fabrication with Photosensitive Benzocyclobutene(Processing, Solder Bumping, System Assenbly, and testing)", Proceedings of the International Conference on Multichip Modules, ISHM, pp.402-417, Oct., 1995.
- [6] J.H.Kim, K.N.Lim, Y.J.Oh, S.H.Lee, Y.M.Ha, and H.S.Soy, "Super high Aperture Ratio TFT-LCD Structure", proceedings of the Third International Display Workshop, pp.149-152, Nov. 1996.
- [7] Andraw J.G.Strandjord, Robert R. DeVellis, W.Boyd Rogers, Philip E.Garrou, Eric S. Moyer, and Greg S.Becker, "Photosensitive Benzocyclobutene for Stress Buffer and Passivation Applications", Cost Effective Lithography Symposium, pp.1-15, July,1996.