

공기 냉각 방식의 래핑을 이용한 구리 기판 연마 공정 개발

이호철*, 김동준+, 이현일+
(논문접수일 2010. 7. 27, 심사완료일 2010. 10. 1)

Thick Copper Substrate Fabrication by Air-Cooled Lapping and Post Polishing Process

Hocheol Lee*, Dongjun Kim+, Hyunil Lee+

Abstract

New type of the base material of the light-emitting diode requires copper wafer in view of heat and electrical conductance. Therefore, polishing process of the substrate level is needed to get a nanometer level of surface roughness as compared with pattern structure of nano-size in the semiconductor industry. In this paper, a series of lapping and polishing technique is shown for the rough and deflected copper substrate of thickness 3mm. Lapping by sand papers tried air cooling method. And two steps of polishing used the diamond abrasives and the Al_2O_3 slurry of size 100nm considering the residual scratch. White-light interferometer proved successfully a mirror-like surface roughness of Ra 6nm on the area of 0.56mm×0.42mm.

Key Words : Copper substrate(구리 기판), Air cooling(공기 냉각), Polishing(연마), Planarization(평탄화), Surface roughness (표면거칠기)

1. 서론

반도체 소자는 미세 전자 회로 패턴을 형성하기 위하여 주로 실리콘 웨이퍼(wafer)를 사용하여 왔고, 노광(lithography) 공정 등은 나노급 표면거칠기를 갖는 경면 연마를 요구하고 있어, 관련 연마 기술이 표준화 수준까지 개발되어 왔다.

또한, 최근의 LED 광소자 등의 분야에서는 보다 다양한 재료의 웨이퍼에 대한 수요가 있어 왔다⁽¹⁾. 한편 구리 웨이퍼는 열 및 전기적 전도성 측면에서 우수한 소재로 새로운 타입의 LED 개발을 위한 기판(substrate) 재료로 시도되고 있다⁽²⁾. 금속 기판 자체의 기존 응용 분야로서는 알루미늄 하드디스크가 대표적으로 사용되어 왔고, 평탄화 및 우수한 표면거칠

* 한밭대학교 기계공학부 (hcleee@hanbat.ac.kr)
주소: 305-719 대전시 유성구 덕명동 산16-1
+ 한밭대학교 기계공학과

기를 확보하기 위한 알루미늄 연마공정에 대해서는 비교적 많이 알려져 있다. 구리 소재에 대해서는 반도체 IC의 다층(multi-level)을 연결하면서 발생하는 요철 패턴(pattern)에 대한 평탄화 공정은 널리 연구되어 이용되고 있으나^(3,4), 기판 형태의 연마공정에 대해서는 구리 박막 웨이퍼(copper-deposited wafer)와 비교되어 패드(pad)의 온도, 재료제거율(removal rate) 등의 연마 특성에 대한 연구 결과로 발표되고 있다⁽⁵⁾. 본 논문에서는 나노급의 표면거칠기를 요구하는 두께 3mm, 직경 100mm의 구리 기판에 대한 연마공정 과정과 그 결과를 제시하였다. 입수된 구리 기판의 휨을 측정된 결과, Fig. 1의 형상과 같이 과다하게 변형되어 있음을 확인하였다. 따라서 연마 공정의 밀착성 개선을 위한 평탄화 공정으로서 SiC 사포(sand paper)에 의한 래핑(lapping)을 적용하였고, 마찰에 의한 열을 냉각하기 위해 공기를 이용하였다. 후속으로 다이아몬드와 Al_2O_3 슬러리(slurry)의 폴리싱(polishing) 공정을 적용하여 미세 스크래치가 없는 표면 거칠기 Ra 6nm의 구리기판 연마방법을 개발하였다.

2. 기판 연마 장치 및 연마 메커니즘(mechanism)

2.1 구리 기판

미세전자회로에 사용되는 얇은 기판은 그 두께가 50 μ m 까지 박판의 경우도 사용되고, 기판을 패드에 가압하여 밀착함으로써, 휨에 대한 특별한 고려는 필요 없다. 그러나 입수된 기판과 같이 두께 3mm의 두꺼운 기판의 경우는 슬라이싱(slicing) 후에 Fig. 1과 같이 형상이 변형되어 있어서, 연마 공정에서의 가압력으로 패드 밀착을 얻어내기 어렵다.

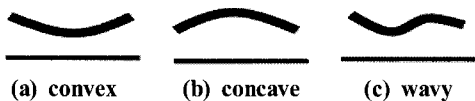


Fig. 1 The deflected shapes of the copper substrates

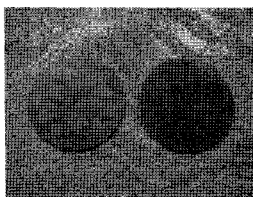


Fig. 2 Copper substrates of thickness 3mm and diameter 100mm

구리기판들의 휨을 측정된 결과, 대체로 기준면 대비 0.3mm 수준까지 휘어져 왜곡되어 있음을 확인하였다. Fig. 2는 연마에 사용될 구리 기판 소재로 매우 거친 표면 상태이었다.

2.2 연마장치

실험에 사용된 연마 장치에서는 Fig. 3에서 보는 바와 같이 연마 패드 또는 래핑 용도의 사포가 상부 헤드(head)에 장착되고, 가공물인 기판은 회전 테이블에 장착된다. 하부 테이블(table)이 일정 속도로 회전하면 마찰력에 의해 상부의 패드도 피벗(pivot)을 중심으로 자발적으로 회전하게 된다. 또한, 별도의 상대적인 편심운동(eccentric motion)이 부가되어, 결과적으로 연마 입자는 3개의 주 운동 방향에 따라 이동하며 구리 기판을 연마하게 된다⁽⁶⁾. 이와 같은 편심연마 방식은 전통적으로 안경 광학 연마에 적용되어 왔으며, 반도체 기판 연마에서도 균일한 표면을 얻기 위한 방식으로 제안되었다.

Fig. 4(a)는 연마 장치 외관이고 Fig. 4(b)는 구리 기판을 장착한 예이다.

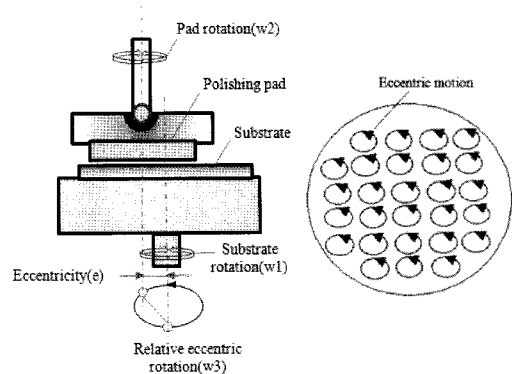
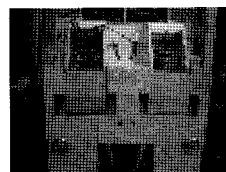
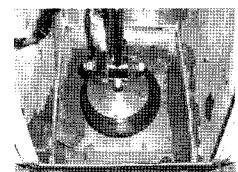


Fig. 3 Schematic diagram of polishing kinematics based on the eccentric motion



(a) machine



(b) substrate arrangement

Fig. 4 The polishing machine and the equipped copper substrate

3. 기판 연마 공정 실험

3.1 기판 연마공정 순서

기판의 연마공정은 기판의 휨과 표면 상태를 고려하여 먼저 래핑에 의해 평탄화 작업을 수행한다. 사포를 이용한 평탄화 작업의 목적은 폴리싱 최소화를 위해 깊지 않은 잔류스 크래치(residual scratch)를 갖는 표면거칠기를 확보하는 것이고, 동시에 폴리싱 패드가 기판과 완전히 밀착되어 균일하게 연마가 이루어지도록 하는 수준까지 밀착 평면도가 개선되어야 한다. Fig. 5에서와 같이 공정의 순서는 래핑과 두 단계의 연속된 폴리싱 공정으로 구분된다. 래핑에서는 상용의 SiC 입자 사포를 이용하였고, 입자의 크기는 임방수(mesh, 메시)로 표현하여 #50에서 #2000까지 순차적으로 사용되었다. 폴리싱에서는 다이아몬드 입자의 슬러리와 알루미나(Alumina, Al₂O₃) 슬러리를 사용하였다.

3.2 연마공정 변수 설정

래핑과 폴리싱에 걸쳐서 사용된 기계적 공정 변수는 고정되어져 사용되었다. 패드와 기판 사이의 가압력은 6.5kgf 로 설정되었고, 기판 회전수 200rpm에 따른 패드의 마찰에 따

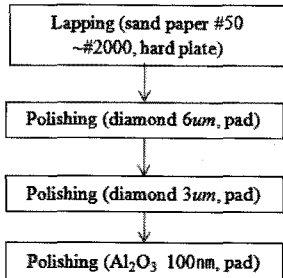


Fig. 5 Process planning for the deflected copper substrate

Table 1 Machine parameters

Parameter	Working condition
Lapping/Polishing load(kgf)	6.5
Eccentric rotation speed(rpm)	31
Pad rotation speed(rpm)	120
Workpiece rotation speed(rpm)	200
Substrate diameter(mm)	100
Substrate thickness(mm)	3

른 종속 회전수는 120rpm으로 나타났다. 균일한 연마를 위한 편심 회전수는 31rpm으로 설정되었다.

3.3 공기냉각 방식의 래핑공정

거친 접촉식 사포를 Fig. 6과 같이 붙여서 사용할 경우에 구리 기판에서 발생하는 열은 사포 뿐만 아니라 구리 기판에도 표면 손상이 나타나 냉각이 필요하다. 냉각이 없이 래핑할 경우의 구리 기판이 변색된 모습은 Fig. 7과 같다.

이와 같은 기판 변색 현상을 개선하기 위해서, 물을 이용한 냉각을 시도하였으나, #50부터 #220 까지의 거친 사포의 경우에는 구리 연마 가루 및 SiC 입자 탈락까지 회당 3~4분의 공정시간이 가능하다. 그러나 고온 입자의 사포는 Fig.

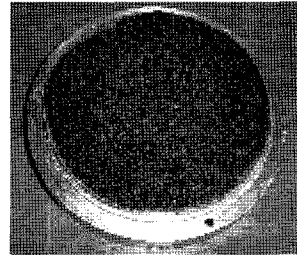


Fig. 6 The lapping head with the attached SiC papers

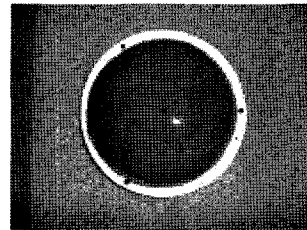


Fig. 7 Copper substrate damage by no cooling lubricants

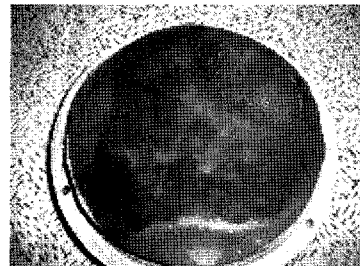


Fig. 8 Sand paper damage by water lubricant

8과 같이 물에 의해 사포가 급속하게 손상되어 냉각수로서 물을 사용할 수가 없었다.

따라서 Fig. 9와 같이 건식의 공기 냉각 방법을 도입하여 기관을 직접 냉각하였다. 회전하는 구리 기관에 에어 노즐(nozzle)로 압축 공기를 분사하여 가열된 기관에 냉각 효과를 발생하게 하였다.

사포의 입방수는 #50에서 #2000까지 순차적으로 높여서 래핑을 적용하였고, 각 단계별로 최적의 작업 기준 시간을 적용하였다. #50에서 #220 까지는 사포에 구리 가루가 끼는

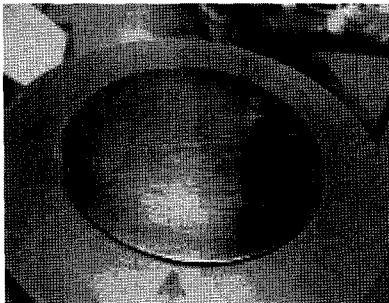
문제로 평균 작업 시간 3분으로 제한하였고, 사포 교체 후에 다시 작업을 반복적으로 수행하였다. #320에서 #2000 까지의 고운 입자의 경우는 작업시간을 4분으로 하였고, 각 단계마다 충분히 세척을 하여 잔류한 구리 가루가 없도록 하였다. 래핑공정에서 얻어진 구리 기관의 모습은 Fig. 10과 같다. #400 적용 이후에 일부 광택이 나고 있으며 스크래치가 보이고 있다. 잔류 스크래치는 슬라이싱이나 사포를 이용한 래핑작업에서 발생한 것이다. 직경 100mm 기관 전면에 걸쳐서 균일하게 래핑이 이루어짐을 볼 수 있다.



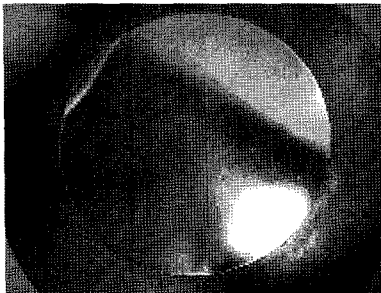
Fig. 9 Air cooling during the lapping process

3.4 폴리싱 공정

잔류 스크래치를 제거하고 광택의 경면 연마를 수행하기 위한 폴리싱 작업은 다이아몬드를 이용한 스크래치 제거와 알루미늄 입자를 이용한 경면연마로 구분되어 수행하였다. 다이아몬드 연마입자는 DP-suspension(Struers Co.)을 사용하였으며, 점성의 윤활제인 DP-lubricant Blue(Struers Co.)를 이용하여 부피 비율 2:8로 희석된 슬러리(slurry)를 조성하여 사용하였다. 연마 패드로서는 DP-Dur(Struers Co.)를 사용하였다. 수행 연마시간은 각 단계마다 5분으로 3회 정도 반복하였다. 사용된 연마입자 및 연마패드는 Fig. 11과 같다.

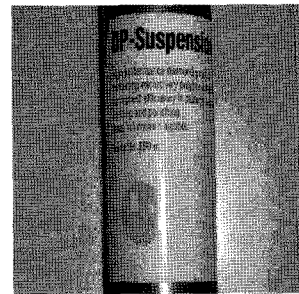


(a) #400 case

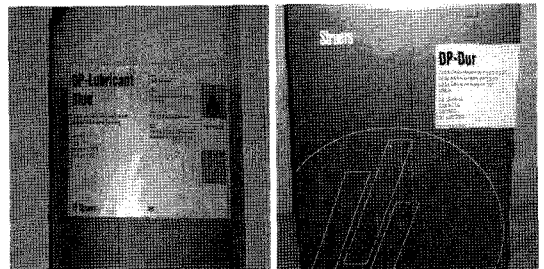


(b) #2000 case

Fig. 10 Lapping results by (a)#400 SiC sand paper and (b)#2000 SiC sand paper



(a) Diamond slurry



(b) Lubricant

(c) Polishing pad

Fig. 11 Lapping consumables

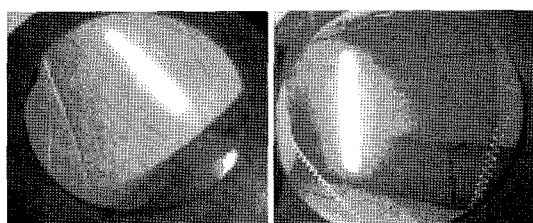
6 μ m의 연마입자와 3 μ m의 연마입자를 사용하여 얻어진 래핑 결과는 Fig. 12와 같다. 래핑 후에 남은 스크래치는 대부분 제거되었으며, 전면에 빛이 산란된 모습이 다소 보이며 후속으로 산란을 제거하는 광택 위주의 경면 연마 작업을 수행할 필요가 있었다.

광택을 내기 위한 최종 공정으로 100nm 급의 알루미늄(Al₂O₃) 슬러리(slurry)와 Fig. 13의 연마패드 폴리텍스(Politex)를 사용하였다. 알루미늄 슬러리 Polipla는 정수된 물로써 1:10의 비율로 희석되어 사용되었다.

Polipla의 작업시간은 초기에 2분을 수행하였으나 표면이 검게 변하거나 미세하게 눌린 흔적(dent, orange peel)이 나타났다. 이는 과도한 연마 작업 시간의 결과로 추측되어 연마시간을 점점 축소한 결과, 15초의 1회 작업만으로 광택을 내는 연마작업으로 충분함을 알 수 있었다. Fig. 14는 최종 연마된 기판의 모습이다.

연마된 구리 웨이퍼의 표면 상태를 백색광 간섭계(white light interferometer, Zygo Co.)를 이용하여 Fig. 15와 같은 측정 결과를 얻었다. 측정 영역 0.56mm×0.42mm 내에서의 표면거칠기는 RMS(root-mean square) 값 9nm, 평균값 Ra 6nm를 확인하였다. 부분적으로 일부 미세 스크래치가 웨이퍼 외곽 영역에서 남아 있었지만, 광학적 반사를 측면에서도 충분한 수준의 표면거칠기가 얻어졌다.

또한 이차원 표면 윤곽선(surface profile)을 확인한 결과,



(a) Diamond 6 μ m (b) Diamond 3 μ m

Fig. 12 Polishing results by diamond slurry

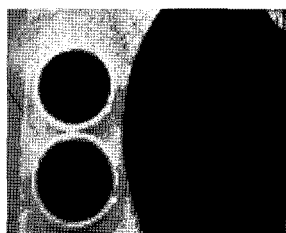
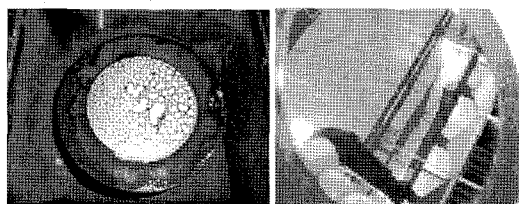


Fig. 13 Polishing pad

Fig. 16과 같이 0.56mm 직선 영역 내에서는 최대최소(peak-to-valley) 값으로 46nm, RMS 8nm, Ra 7nm으로 나타났다.

Fig. 17과 같이 인디케이터(indicator)를 이용하여 석정반 기준면 대비 연마 가공된 형상 높이를 샘플(sample) 측정된 결과, 평균 135 μ m으로 가장자리가 높게 나와서 초기 대비



(a) Polipla slurry on the substrate (b) Shiny substrate surface

Fig. 14 Polished results by slurry Polipla



Fig. 15 3-D surface map by white light interferometer

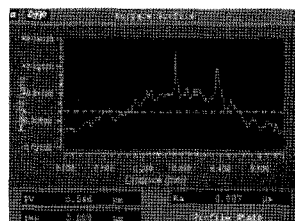


Fig. 16 Surface profile by white light interferometer

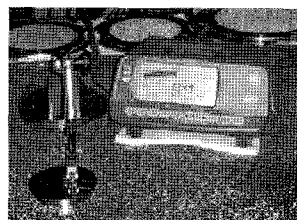


Fig. 17 Substrate height variation on the flat base stone

형상이 완화되었다. 기판 가장자리 위치에서의 회전 방향으로의 높이 변화는 1 μ m 이내로 나타나 균일한 연마가 되었음을 확인하였다.

4. 결론

본 논문에서는 광소자 등에서 사용될 금속 구리 기판에 대한 연마공정을 개발하였다. 래핑에서 잔류스크래치를 최소화 하면서 형상 왜곡을 개선하여 밀착성을 확보하고, 폴리싱에서 경면 연마를 달성하는 방법을 실험을 수행하였고, 다음과 같은 결과를 얻었다.

- (1) 변형된 두꺼운 구리 기판은 얇은 웨이퍼에 비교해서 밀착성 확보를 위해 평탄화 작업이 선행되어야 하며, 상용의 접착식 사포를 이용하여 랩을 구성하였다.
- (2) 사포 내구성 확보를 위해 구리 기판과 사포에 대해서 수냉식이 아닌 건식의 공기 냉각 방식을 이용하였다.
- (3) 스크래치를 제거하기 위해 점성의 다이아몬드와 알루미늄 슬러리를 조성하여 사용하였다. 경면 연마에서 15초 이내의 최소 연마 작업시간으로 표면거칠기 Ra 6nm 수준의 구리 기판을 얻었다.

후 기

이 논문은 교육과학기술부의 재원으로 한국연구재단(구 한국학술진흥재단)의 지원을 받아 수행된 연구임(NRF-2008-331-D00061)

참고 문헌

- (1) Waferworld, n.d., <<http://www.waferworld.com>>.
- (2) Chu, J., Liang, W., Chu, C., Kuo, H. C., and Wang, S. C., 2004, "Large Emitting Area GaN Based Light Emitting Diode Fabricated on Conducting Copper Substrates," *The 17th IEEE Annual Meeting of LEOS*, pp. 282~283.
- (3) Li, Z., Borucki, L., Koshiyama, I., and Philipssian, A., 2004, "Effect of Slurry Flow Rate on Tribological, Thermal, and Removal Rate Attributes of Copper CMP," *J. Electrochemical Society*, Vol. 151, pp. G482~487.
- (4) Sorooshian, J., DeNardis, D., Charns, L., Li, D., Bonig, D., Shadman, F., and Philipssian, A., 2004, "Arrhenius Characterization of ILD and Copper CMP Processes," *J. Electrochemical Society*, Vol. 151, pp. G85~88.
- (5) Li, Z., Lefevre, P., Koshiyama, I., Ina, K., Boning, D., and Philipossian, A., 2005, "Comparison of Copper Disc and Copper Wafer Polishing Processes in Terms of their Kinetic, Tribological, and Thermal Characteristics," *IEEE Transaction on semiconductor manufacturing*, Vol. 18, No. 4, pp. 681~687.
- (6) Lee, H., and Kim, J., 2008, "Full Contact Polishing Method of Aspherical Glass Lens Mold by Airbag Polishing Tool," *J. Korea Society of Machine Tool Engineers*, Vol. 17 No. 5, pp. 82~88.