

# CMP연마에 의한 실리콘산화막의 표면특성

논문  
12-7-13

## Surface characteristic of silicon-oxide film by CMP polishing

이현수\*, 임성훈\*\*, 김민기\*\*, 한병성\*\*\*

(Hyun-Soo Lee\*, Sung-Hun Lim\*\*, Min-Ki Kim\*\*, Byoung-Sung Han\*\*\*)

### Abstract

In this paper, the global smoothening in the contact area of Josephson devices using CMP(Chemical Mechanical Polishing) method was presented. In the case that Josephson devices were used as switching ones, contact area between device and lead of junction is very important for junction of Josephson device. To fabricate the submicron Nb/AIO<sub>x</sub>/Nb Josephson junction, silicon-oxide thin films were polished using the smoothening process of CMP method. It is improved in the distribution of thin film thickness, polishing ratio, control of characteristics thickness after repetition of polishing. Especially, it is very effective to use the mirror like sus holder.

**Key Words(중요용어)** : Superconducting device, CMP(Chemical mechanical polishing), Polishing ratio, Silicon-oxide thin film.

### 1. 서 론

BCS(Bardeen-Cooper-Schrieffer)이론에 의해 1962년 Josephson은 2개의 초전도체 사이에 매우 얇은 막인 절연체를 끼워 넣었을 때 초전도전자가 절연체를 터널하여 초전도 전류가 흐른다는 결론을 얻었다. 이것을 조셉슨 효과라 부른다. 이러한 현상은 1963년 Anderson과 Rowell에 의해 실험적으로 확인되었고, 이것을 응용한 소자를 조셉슨소자라 부른다.

그 후 주로 초전도체에 Pb합금을 이용한 조셉슨소자의 연구가 행하여 졌으나 Pb합금은 임계온도, 용점이 모두 낮고 동작온도와 내구성에 문제가 있어 재료가 강도나 안정성, 내구성등을 고려하여 임계온도가 높은 Nb 나 NbN이 널리 이용되게 되었다<sup>(1)</sup>.

조셉슨소자는 고속성, 고감도, 고정밀도라는 성질을 갖고 소비전력도 극히 적은 특성을 갖고 있어 SQUID(Superconducting Quantum Interference Devices)등 수 많은 소자에 응용이 기대된다. 조셉슨 소자를 스위칭소자로서 이용하는 경우, 접합면적을 작게 하면 집적도를 높일 수 있고 배선지연이 작게 되어 회로전체의 동작속도가 빠르게 된다. 결국 조셉슨 소자의 접합면적 소형화는 회로를 고성능화, 고밀도화시키기 때문에 더욱 효과적이다<sup>(2)</sup>.

CMP(Chemical Mechanical Polishing)를 기본으로 하는 과정은 고품질의 Submicron Nb/AIO<sub>x</sub>/Nb 조셉슨 접합의 제작에 커다란 공헌을 하고 있다.

그러나 Submicron의 접합을 제작할 때 문제점으로는 Submicron크기의 카운터전극과 배선층과의 접촉이다. 접합을 절연체로 피복할 때에 카운터전극을 두출하는 방법은 에칭배킹(etching baking), 스피논배킹(spin on baking)등의 방법이 있지만 이들의 프로세서는 극소적으로만 평활화된다.

따라서, 이 과정에 있어서 CMP를 이용하여 고품질인 Submicron 조셉슨 접합을 제작하는 것이 본 연구의 목적이다.

여기서 CMP를 이용한 경우의 이점은 앞서 기술한

\* : 마산대학 전기과 교수  
(경남 마산시 회원구 내서읍 용담리 100, Fax : 0551-230-1325 E-mail : hsl.lee@masan-C.ac.kr)  
\*\* : 전북대학교 전기공학과  
\*\*\* : 전북대학교 전기공학과 교수  
1999년 3월 19일 접수, 1999년 6월 12일 심사완료

다른 방법에서는 극소적으로 밖에 평활화되지 않지만 CMP의 경우는 글로벌한 평활화가 가능한 점이다. 1개의 실리콘웨이퍼위에 다수의 접합을 만드는 동시에 CMP에 의한 평활화 과정은 접합에 주는 영향이 적은 장점이 있다<sup>[3]</sup>.

## 2. 실험 방법

### 2.1 시료의 제작

SiO<sub>2</sub>는 2인치 실리콘웨이퍼 위에 Ar가스를 사용한 DC마그네트론스파터링법으로 Nb막을 약 1700Å 정도로 만들고 그 위에 같은 방법으로 Al막을 250Å 정도 만든다. 또 SiO는 진공증착법으로 약 3000Å ~ 5000Å의 Nb와 Al막을 만든 후 레지스터를 코팅하고 현미경노광으로 그림 1과 같이 작은 구멍의 패턴을 형성시킨다. 그리고 마지막작업으로 압력4Pa의 CF<sub>4</sub>가스를 이용하여 RIE(Reactive Ion Etching) 에칭을 한다.

이 때 Al이 에칭스토퍼의 역할을 하며 에칭후 레지스터는 아세톤으로 제거하고 시료를 KOH용액에 넣어 Al을 제거한다.

마지막으로 막두께측정계기로 연마전의 SiO 또는 SiO<sub>2</sub>의 막두께를 측정한다.

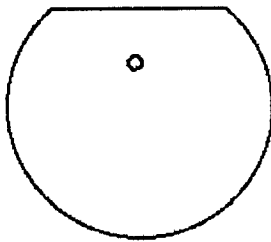


그림 1. 막두께 측정용 홀  
Fig. 1. Hole for measurement of film thickness

### 2.2 연마

본 연구에서는 연마장치로서 MA-200D를 사용하였으며 장치의 개략도는 그림 2에 나타내었다.

테이블은 임의의 회전수(rpm)로 반시계방향으로 회전하며 테이블의 표면에는 폴리싱패드가 부착되어 있다. 본 연구에서는 1차 연마용, 최종연마용 각각의

패드를 사용하였고 시료의 고정방법은 우선 실리콘웨이퍼를 시료홀더에 고정한다.

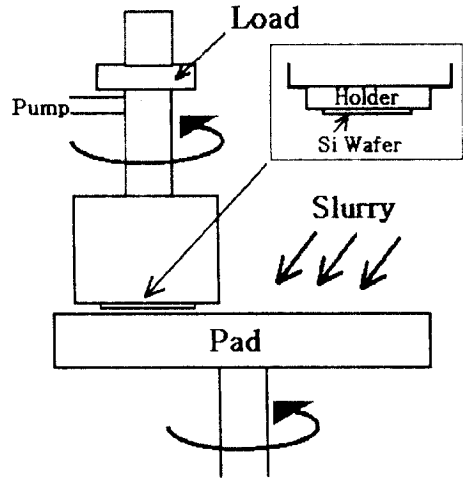


그림 2. 연마장치  
Fig. 2. Grinding device

본 연구에서 이용한 홀더는 SiO<sub>2</sub> 홀더와 SUS 홀더 두종류이다.

SiO<sub>2</sub> 홀더는 그림 3에 나타낸 것과 같이 우선 홀더 위에 레지스터를 코팅하고 그 위에 시료를 올려놓고 가볍게 누른 상태로 110°C에서 30분간 배킹하며 시료를 고정하는 홀더이다.

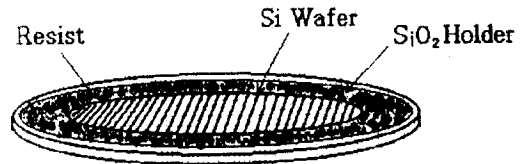


그림 3. SiO<sub>2</sub>홀더  
Fig. 3. SiO<sub>2</sub> holder

한편, SUS홀더는 그림 4에 나타낸 것과 같이 홀더의 직경은 실리콘웨이퍼보다 약간 크고 두께는 실리콘웨이퍼보다 얇다. 시료는 이러한 형태의 구조에 물을 뿌려 표면장력에 의해 고정시킨다.

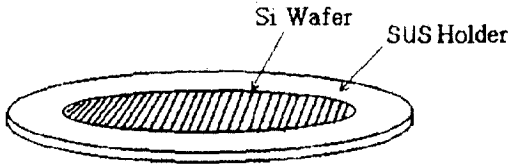


그림 4. SUS홀더  
Fig. 4. SUS holder

다음에 시료를 고정한 홀더는 로터리 펌프로 진공 배기하여 고정한다.

한편 시료를 고정한 진공배기장치는 장치본체에 주로 지지되어 있기 때문에 테이블의 회전방향으로 회전하지 않지만 진공배기장치 자체는 테이블과 같이 반시계방향으로 자전한다.

따라서, 패드의 시료에 대한 속도는 진공배기장치와 테이블의 상대속도로 되지만 측정이 곤란하기 때문에 본 연구에서는 테이블의 회전속도를 그대로 파라미터로서 취급하였다.

또 진공배기장치 자체는 무부하, 1Kg, 2Kg의 부하를 견디는 것이고 패드와 시료사이에는 연마제인 슬러리가 들어 있다.

이 슬러리는 30초 간격 또는 1분 간격으로 패드 위에 떨어지며(테이블의 회전속도가 50rpm이상일 때는 30초 간격, 그 보다 낮을 때는 1분간격으로 하였다) 연마를 할 때 주의할 점은 로터리 펌프로부터의 호스를 수평으로 해야 한다. 왜냐하면 호스가 기울어지면 진공배기장치에 힘이 가해져 패드에 대하여 수평이 되지 않아 패드와 밀착도가 크게 되는 부분이 생기게 되고 진공배기장치의 회전속도가 빨라져 연마가 불균일하게 되기 때문이다.

### 2.3 연마비율 측정

연마후 시료에 레지스터를 입히고 그림 5에 나타난 것과 같이 시료의 중심을 직교하는 2개의 가늠자란 선을 패터닝한다. 앞에서 기술한 측정용홀더와 같이 압력 4Pa의 CF<sub>4</sub>가스를 흘려 RIE로 에칭한 후 레지스터는 아세톤으로 제거하고 Al은 KOH로 제거한다.

막두께측정계기로 중심으로부터 0 mm, 7 mm, 14 mm, 21 mm인 지점에서 측정된 SiO 또는 SiO<sub>2</sub>의 막두께는 제거된 Al의 막두께를 포함한다.

이로부터 연마 전 막두께와 비교하여 연마속도를 산출한다.

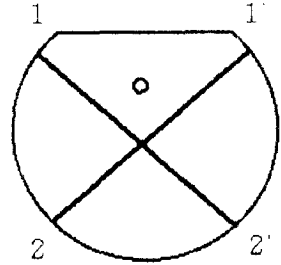


그림 5. 막두께 분포측정의 개략도  
Fig. 5. Outline for distribution measurement of film thickness

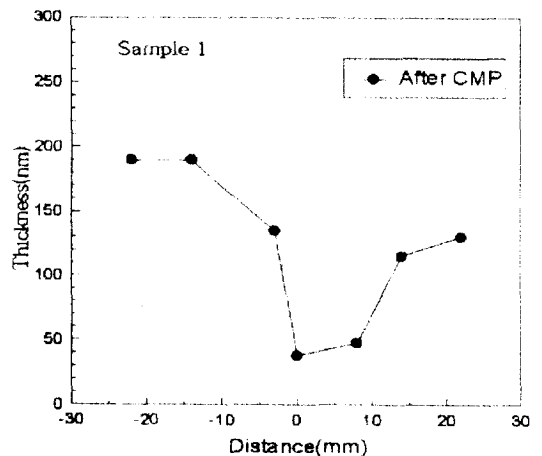
## 3. 실험결과 및 고찰

### 3.1 홀더특성

본 연구에서 처음에 사용한 홀더는 SiO<sub>2</sub>홀더이나 이 홀더는 거대한 결점 2가지가 있다.

첫째 이 홀더는 레지스터로 실리콘 웨이퍼를 고정하지만 연마 후 홀더로부터 시료를 떼어내는 것이 곤란하다. 따라서, 아세톤속에 시료를 넣고 초음파세정을 30분 이상 해야 한다.

둘째, 연마후 막 두께분포의 균일성이 나쁘다. 그림 6에 나타난 것과 같이 샘플1은 중심부분이 많이 연마되어 있지만 샘플2에서는 중심보다도 바깥쪽이 연마되어 있다. 이러한 이유는 연마할 때, 패드와 시료의 밀착도에 따라 막두께분포의 형상이 변화하기 때문이다.



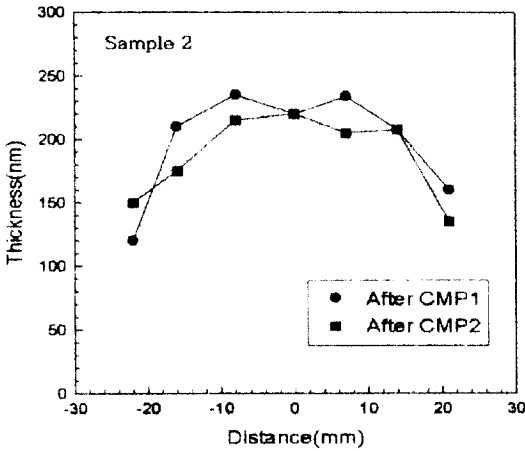


그림 6. SiO<sub>2</sub>홀더를 이용한 막두께분포  
Fig. 6. Distribution of film thickness using SiO<sub>2</sub> holder

이와 같은 2가지 결점을 개선하기 위해서 SUS로 된 홀더를 제작하였다. SUS홀더의 시료고정법은 물의 표면장력을 이용하기 때문에 종류수속에서 초음파 세정으로 간단하게 시료를 분리할 수 있다.

막 두께 분포의 형상에 대해서는 그림 7에 나타난 것과 같이 샘플3, 샘플4 모두 양호한 형상이다. 이러한 형태로 SUS홀더를 이용하면 거의 일정한 형상을

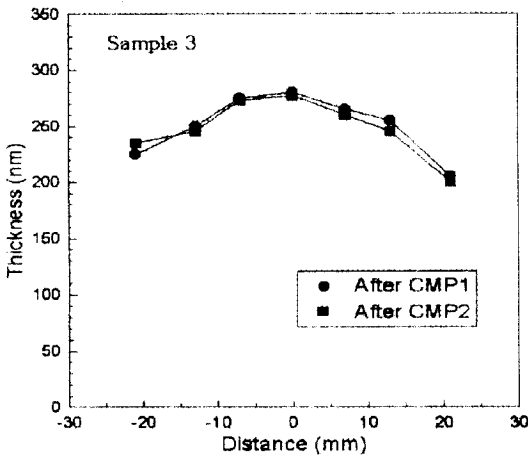


그림 7. SUS홀더를 이용한 막 두께 분포  
Fig. 7. Distribution of film thickness using SUS holder

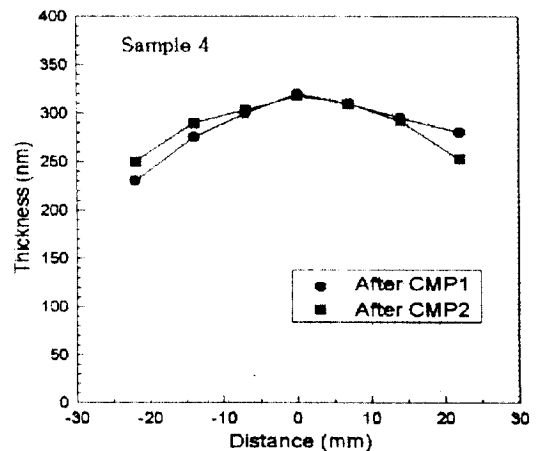
얻을 수 있어 시료의 분리가 용이하게 된다.

그러나, SUS홀더를 이용하여 연마하면 연마 후 시료표면에 커다랗게 잘린 흔적이 다수 관측된다. 이것은 홀더의 패드와 접촉하는 면에 요철이 있고 이것이 연마되어 제거된 SUS가 시료표면을 손상시키는 것으로 생각된다. 그러므로 시료를 고정시키지 않고 홀더 그 자체를 장시간 연마하여 홀더표면을 거울상대로 만든다. 이와 같은 거울면 SUS홀더를 이용하여 연마하면 손상부분은 관측되지 않게 되므로 거울면 SUS홀더를 이용하여 연마하면 최상으로 된다.

### 3.2 SiO와 SiO<sub>2</sub>의 비교

본 연구에서는 우선 RF마그네트론 스파터링법으로 제작된 SiO<sub>2</sub>를 연마하였다. 이 방법으로 만들어진 SiO<sub>2</sub>막은 스파터장치의 제어성이 나빠 퇴적비율이 스파터할때마다 크게 변화한다. 또 그림 8에 연마 전의 SiO<sub>2</sub>막두께 분포를 나타내었지만 이 그림으로부터 알 수 있듯이 SiO<sub>2</sub>막두께는 큰 편차를 갖는다. 따라서, 연마 후에도 막두께가 일정치 않아 평활도가 나쁘게 되므로 진공증착법으로 만들어진 SiO를 시료로서 사용하였다.

이와같이 진공증착법으로 만들어진 SiO막두께 분포는 그림 9와 같이 평활도가 비교적 높은 막두께 분포를 나타내었다. 또한, 그림 10에 같은 조건으로 연마한 SiO와 SiO<sub>2</sub> 연마비율의 그래프를 나타내었다. 연마는 모두 테이블회전수 30rpm, 동일한 패드, 동일한 슬러리, 거울면 SUS홀더를 이용하여 실행하였



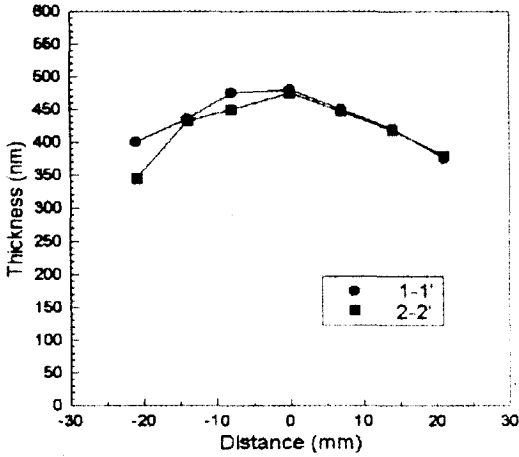


그림 8. 연마전 SiO<sub>2</sub>의 막두께 분포  
Fig. 8. Distribution of film thickness in the SiO<sub>2</sub> before grinding

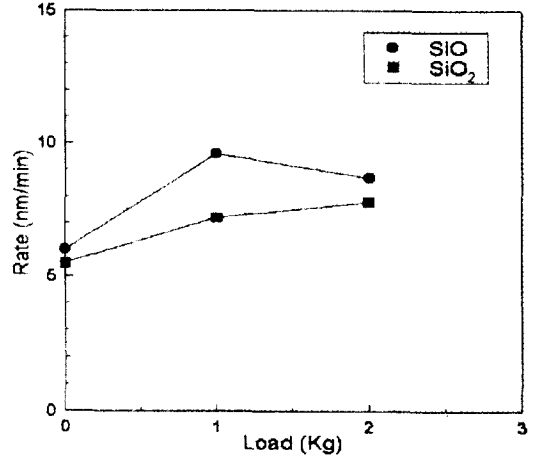


그림 10. SiO와 SiO<sub>2</sub>의 연마 비율  
Fig. 10. Grinding ratio of SiO and SiO<sub>2</sub>

으며 횡축은 연마장치에 걸린 부하를 의미한다. 이 그림으로부터 부하가 무부하, 1Kg, 2Kg 각각의 경우 SiO<sub>2</sub>보다 SiO의 연마비율이 큼을 알 수 있다.

### 3.3 회전수 특성

연마속도에 따른 회전수 특성을 살펴보면 시료와

테이블의 상대속도 측정이 곤란하기 때문에 여기서는 테이블의 회전수를 파라미터로 하였다.

그림 11은 SiO의 회전수특성을 나타낸 것으로 그림으로부터 알 수 있듯이 90rpm일 때 연마비율이 예상보다 작지만 전체적인 연마비율은 테이블의 회전수에 비례하여 크게 됨을 알 수 있다. 마찬가지로 그림

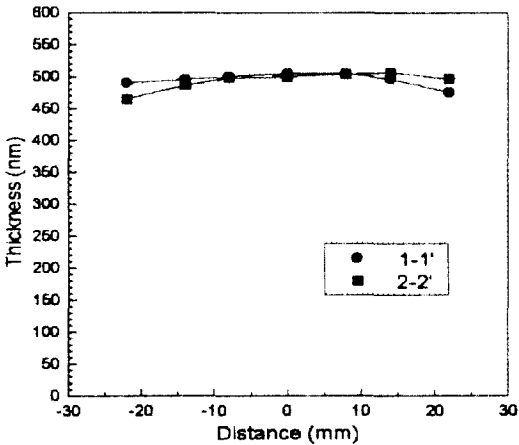


그림 9. 연마전 SiO의 막두께 분포  
Fig. 9. Distribution of film thickness in the SiO before grinding

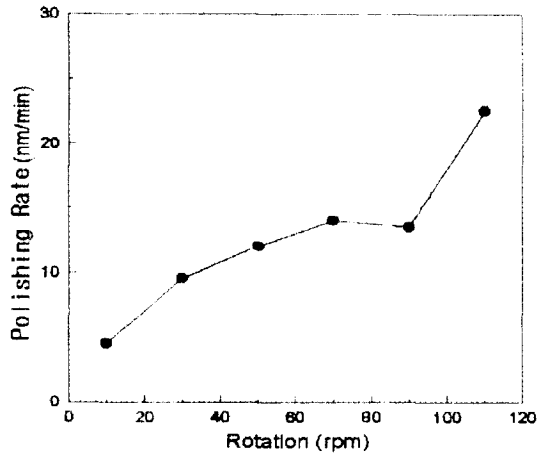


그림 11. SiO의 회전수 특성  
Fig. 11. Characteristic of the number of rotation in SiO

12에는 SiO<sub>2</sub>의 회전수 특성 그래프를 나타낸다.

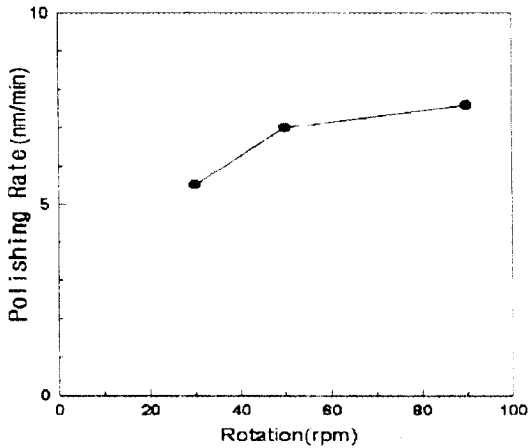


그림 12. SiO<sub>2</sub>의 회전수 특성  
Fig. 12. Characteristic of the number of rotation in SiO<sub>2</sub>

SiO와 같은 형태로 테이블의 회전수에 비례하여 연마속도는 크게 되었다.

이상으로부터 알 수 있듯이 연마속도는 회전수에 의존하고 있음을 알 수 있었다.

### 3.4 슬러리 특성

본 연구에 사용한 슬러리는 SP-15와 3000의 두 종류이며 각각의 성질을 표 1에 나타낸다.

표 1. 슬러리의 성질  
Table 1. Properties of Slurry

슬러리	SP-15	3000
주성분	SiO <sub>2</sub>	SiO <sub>2</sub>
SiO <sub>2</sub> 양(%)	15	10
pH	11.5	10.8
비중	1.10	1.05
평균입자직경(nm)	10~20	60~80
용도	1, 2차용	최종용

동일한 조건으로 각각의 슬러리를 이용하여 연마한 결과 연마비율이 SP-15에서는 90 Å/min이지만 3000에서는 108 Å/min이었다.

이는 연마비율이 슬러리에 의존하고 있으며 본 연구에서 사용된 두 종류의 슬러리의 확실한 차이는 SP-15로 연마할 경우 연마 후 시료표면에 깊이 200~800 Å의 구멍이 많이 생겼다. 이것은 SiO와 SiO<sub>2</sub> 시료 모두에서 관측되었으나 3000을 이용하여 연마한 경우 이러한 구멍들이 완전하지는 않지만 상당히 감소되었다. 이러한 이유는 시료와 테이블이 회전하고 있기 때문에 기계적인 원인보다는 화학적인 요소에 의한 것으로 추측된다.

## 4. 결 론

본 연구에서는 CMP에 의한 평활화 과정을 이용한 Sub마이크론 조셉슨 접합의 제작을 목적으로 실리콘 산화막의 연마를 하였다.

실험초기에는 막두께분포, 연마속도, 제어성, 균일성이 매우 나빴지만 연마를 반복함에 따라 비교적 많이 개선되었다. 특히 거울면 SUS홀더를 이용한 것은 매우 효과적이었고, 연마속도는 80 Å/min전후였다. 원래 절연체는 스파터링법으로 만들어진 SiO<sub>2</sub>막을 이용하였지만 장치의 제어성에 문제가 있어 나중에는 진공증착법으로 만들어진 SiO를 이용하여 연마하였다.

본 연구에서 연마를 실시하였을 때 가장 큰 문제점은 연마후의 시료표면에 구멍이 생기는 것이다. 시료와 테이블은 모두 회전하고 있기 때문에 기계적인 원인으로서는 이와 같은 구멍이 생기는 것을 고려할수 없기 때문에 화학적인 요소에 기인하는 것으로 추정된다. 앞으로 층간절연의 파괴가능성이 있는 연마 후 시료표면의 구멍에 관한 연구를 수행할 예정이다.

## 참 고 문 헌

1. J. E. Zimmerman, J. A. Beall, M. W. Comarand, R. H. Ono, Appl. Phys. Lett. 51, p. 617, 1987.
2. R. H. Koch, C. P. Umbach, G. J. Clark, P. Chaudhar, R. B. Laiowitz, Appl. Phys. Lett. 51, p. 200, 1987.
3. A. Barone, G. Paterno, Physics and Applications of the Josephson Effect, John Wiley & sons, NY, 1982.
4. Y. Hayashi and S. takahashi Jpn. J. Appl. Phs. Vol. 32, P. 1060, Part 1, No3A, 1993.
5. F. Sugimoto, H. Horie, Y. Arimoto and T. ITo, Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 34, P. 30,

CMP연마에 의한 실리콘산화막의 표면특성.....이현수, 임성훈, 김민기, 한병성

Part 1, No. 1, 1995.

6. M. Bhushan, Z. Bao, B. Bi, M. Kamp, K.  
Lim, J. E. Lukens, International

Superconductive Electrons Conference, P.  
17. (ISEC '95).