

한 개의 Lamp를 이용한 Metal Alloy용 RTP 장비 개발

최진호

부산외국어대학교 컴퓨터 공학과

Development of the RTP System for

Metal Alloy using One Lamp

Jin-Ho, Choi

Pusan University of Foreign Studies

Dept. Computer Engineering

이동엽

*경주전문대학 전기과

*Dong-Youb, Lee

*Kyong-Ju Junior College

Dept. Electricity

Abstract

A Rapid Thermal Processing (RTP) system operated below 500°C has been designed and constructed. It uses an optical pyrometer for measuring wafer temperature, the sensing range of pyrometer is from 2.0 μ m to 2.4 μ m. To remove the interference effect by IR emitted from lamps an IR filter is adapted which uses water.

The best condition for Al alloy using the RTP system is 425°C for ten seconds.

The RTP system uses many lamps for supplying enough power in processing wafer because the absorption wavelength range of IF filter is from 1.3 μ m to 4.0 μ m. However, reproducibility and uniformity is reduced due to the difference of lamp characteristics.

Therefore, for improving the reproducibility and uniformity new RTP system using one lamp is designed. The new RTP system uses a focusing mirror and it focuses the light of lamp.

The curvature of the focusing mirror is controlled to supply uniform power in processing wafer. The result of computer simulation shows the possibility of new RTP system using one lamp.

I. 서론

전자 소자의 크기를 감소시켜 고집적화를 이루려는 연구는 오랫동안 지속되었고, 집적화 연구의 일환으로 열처리 과정을 수초초 이내로 줄이는 방법이 고안되어왔다.^{[1][2]} 현재 고속 열처리 공정(RTP : Rapid Thermal Processing)의 세계적 기술 수준은 실제 공정에 응용을 검토중에 있으나 아직 장치의 신뢰성 문제로 많은 장전에도 불구하고 크게 응용되지 않는 실정이다. 본 연구에서는 신뢰성있는 Metal Alloy용 고속 열처리 장치를 설계 제작하기 위하여, 기존 여러개의 램프를 사용한 장치를 이용하여 실험을 수행하고 그 결과를 토대로 기존의 장치가 갖는 단점을 보완하여 한 개의 램프를 이용해 웨이퍼의 온도 분포가 일정하도록 반사 거울을 설계하였다. 새로 설계된 장치를 제작하여 Metal Alloy공정을 수행하면 기존의 장치에서 야기된 신뢰도 및 재현성에 대한 문제를 해결해, 우수한 실험결과를 얻을 수 있을 것이며 이를 통하여 Metal Alloy용 RTP 장치의 성능을 한 단계 높이고 집적화 연구에 진전을 보일 것이다.

II. 여러 개의 Lamp를 이용한 RTP 장치

1. 장치의 개략도

기존의 Furnace에서 수행한 알루미늄을 이용한 Metal Alloy 공정은 수분에서 수십분 공정이 수행되므로 Hillock 현상, Junction Spiking 현상, Migration 현상등 많은 문제점을 갖고 있다.^[3]

이와 같은 문제점을 해결하기 위하여 열처리 공정을 수초이내에 수행하는 방법으로 고속 열처리 공정을 이용한 Metal Alloy 공정이 제안되었다.^[4] 이 제안된 장치는 Light Box, IR Filter, Processing Chamber, 온도감지장치, 냉각장치 및 제어장치로 구성되어 있으며 이에 대한 개략도가 그림 2.1에 나타나 있다.

1) Light Box

Light Box의 에너지 원으로 사용된 120V, 2kW의 정격을 갖는 텅스텐-할로겐 램프는 출력이 약 143W/cm로 수초 후에 500°C까지 웨이퍼의 온도를 상승시킨다. 또한 Box의 아래쪽은 에너지 효율을 높이기 위해 Stainless 거울로 제작하였다.

2) IR Filter와 온도감지 장치

온도감지 장치는 측정 범위가 2.0~2.4 μ m인 Optical Pyrometer를 사용하였다. 그런데 램프에서 나오는 빛

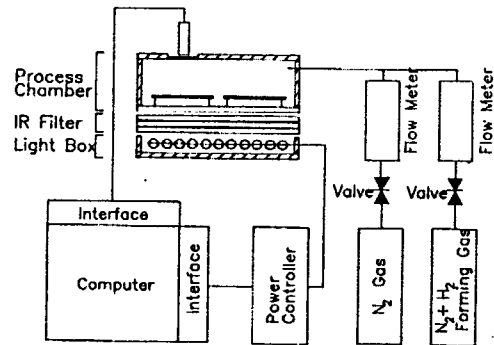


그림 2.1 여러개의 램프를 이용한 RTP장치의 개략도

의 파장 범위가 0.4~4.5 μ m로 이에 의해 웨이퍼가 가열되고 가열된 웨이퍼에서 나오는 파장을 Pyrometer가 감지해야 한다. 그러나 500°C 이하의 온도 범위에서는 웨이퍼의 IR 흡수가 거의 일어나지 않아 Pyrometer가 램프의 파장을 감지하게 된다. 이와 같은 문제점을 해결하기 위

하여 물을 이용한 Filter를 제작하여 IR 투과를 막는 방법이 고안되었다. 물은 계속 흘릴수 있어 장치의 온도가 상승하는 효과를 막아주며 1 μ m 이상의 파장을 다 흡수하므로¹⁵⁾ 훌륭한 Filter로 작용할 수 있을 것이다.

3) Processing Chamber

그림 2.1에 나타난 Processing Chamber는 Stainless Wall로 제작되었고 밑부분의 석영창을 통해 Filtering 된 빛이 웨이퍼에 도달하여 웨이퍼의 온도를 가열시키고 가열된 웨이퍼의 온도를 제어하도록 설계하였다. 여기에서 웨이퍼의 온도감지를 위하여 Monitoring 웨이퍼를 사용하였는데 이는 공정 웨이퍼 표면에 여러물질이 있는 경우 물질의 Emissivity가 서로 달라 Pyrometer가 온도를 감지하는 영향을 배제시키기 위함이고 Chamber 내에 질소 및 Forming Gas를 공급하도록 설계하였다.

4) 냉각 장치 및 제어장치

램프들 주변의 온도상승에 의해 공정수행 중 램프가 파괴되는 것을 방지하기 위해 냉각팬을 램프 주위에 설치하고 Light Box 및 Chamber에 냉각수를 공급하였다. 제어장치는 Pyrometer로 측정된 온도를 그림 2.1과 같이 Closed Loop Control 방식으로 컴퓨터에 의해 자동적인 Radition Level을 결정해 수초 내에 원하는 공정온도까지 올릴 수 있도록 하였다.

2. RTP 장치의 평가

1) 신뢰도 및 재현성

장치의 신뢰도를 평가하기 위해 (100), N-Type, 3" 실리콘 웨이퍼에 Boron을 확산하고 위치에 따른 Contact 저항을 측정된 결과가 그림 2.2에 나타나 있다.

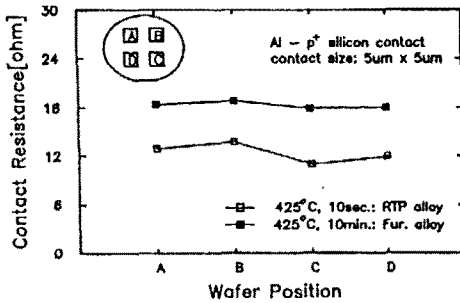


그림 2.2 제작된 고속 열처리 장치의 균일도

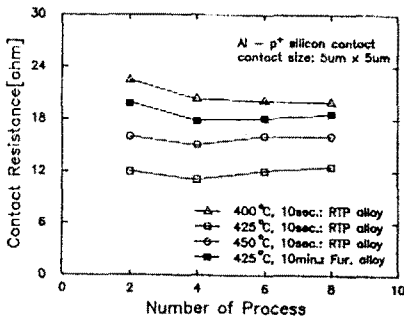


그림 2.3 제작된 고속 열처리 장치의 재현성

Furnace 와 RTP 장치에서 425°C에서 10분, 425°C에서 10초동안 각각 Alloy 공정을 수행하였다. Furnace에서 Alloy 공정을 수행한 웨이퍼의 위치에 따른 Contact 저항은 $17 \pm 1 \Omega$ 이고, RTP장치는 $12.5 \pm 1.5 \Omega$ 이었다. Alloy 공정시 사용된 개스는 모두 질소이며 Contact Size는 $5 \mu\text{m} \times 5 \mu\text{m}$ 로 이 경우의 균일도는 Furnace에서 95%, RTP 장치는 88%이었으나 Contact 저항값은 RTP 장치가 6.5 Ω 정도 낮게 나타났다. 재현성 평가를 위해서 위의 웨이퍼에 Boron을 확산하고 두 장치에 의해 온도에 따라 Alloy 공정을 반복 수행해 Contact저항값을 측정했으며 그 결과가 그림 2.3에 나타나있다. Furnace의 경우 425°C에서 10분 동안, RTP 장치는 400°C, 425°C, 450°C에서 10초동안 각각 수행하였으며 공정개스는 모두 질소이고, Contact Size는 $5 \mu\text{m} \times 5 \mu\text{m}$ 로 고정하였다. Contact 저항의 경우 400°C에서 10초 동안 RTP Alloy한 경우를 제외하고 425°C, 450°C에서 RTP Alloy한 경우 Contact 저항이 Furnace Alloy 보다 낮았다. 이상에서 RTP 장치가 Furnace의 경우보다 균일도와 재현성에서 변화의 폭이 다소 크지만 Contact 저항값이 낮음을 알 수 있다.

2) Hillock 현상

집적회로 제조공정 중 Metal Alloy 공정에서 나타나는 Hillock 현상은 수율과 신뢰도에 커다란 문제점으로 대두되고 있다. 이러한 현상을 고찰하기 위하여 (100), N-Type, 3" 실리콘 웨이퍼에 500 μm 의 산화막을 성장시킨 후 순수한 알루미늄을 1 μm 두께로 증착하였다. Furnace 공정의 경우 425°C에서 10분 동안 질소 분위기에서 Alloy 공정을 수행하고 RTP 장치는 350°C, 425°C, 500°C에서 각각 10초 동안 질소 분위기에서 Alloy 공정을 수행하였다. 그리고 알루미늄 표면 SEM 촬영한 결과가 그림 2.4에 나타나 있다.

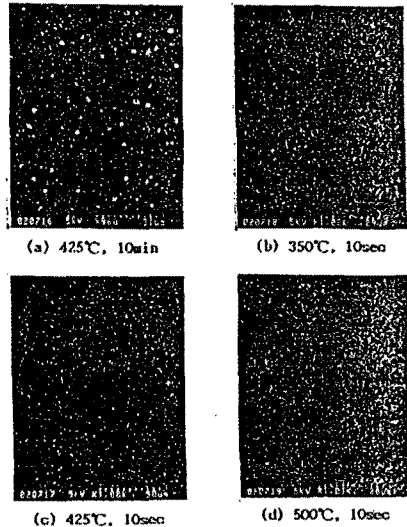


그림 2.4 열처리 조건에 따른 알루미늄의 Hillock 특성

Furnace 공정에는 많은 Hillock이 생성되었으나 RTP 공정의 경우에는 온도에 관계없이 Hillock이 생성되지 않았다. 이와 같은 결과는 Hillock 생성이 Alloy 온도보다 시간에 대한 함수로 생각되므로 RTP Alloy 공정에 서는 Hillock

현상이 현저히 감소되었다.

3. Junction Spiking 현상

집적회로 제조공정에서 나타나는 문제점 중 또 다른 하나는 얇은 집합 깊이를 갖는 소자에 대한 Junction Spiking 현상이다. 이 현상에 대한 문제점을 알아보기 위하여 (100), N-Type, 3" 실리콘 웨이퍼에 고속 열확산 방법에 의하여 Boron을 확산하고 150 μm , 200 μm , 250 μm 의 집합을 형성하고 20 μm ×20 μm 의 Contact에 알루미늄을 1 μm 증착하였다. Furnace 공정은 425 $^{\circ}\text{C}$ 에서 10 초동안 질소분 위기로 Alloy 공정을 수행한 결과가 그림 2.5에 나타나 있다. Furnace 공정의 경우 250nm의 집합을 제외하고 Junction Spiking 현상이 나타났으나 RTP 장치의 경우 150nm의 집합에서도 Junction Spiking 현상과는 무관하였다. 이 Junction Spiking 현상도 RTP 장치에 의해 Alloy 공정을 수행하면 문제점이 나타나지 않음을 알 수 있다.

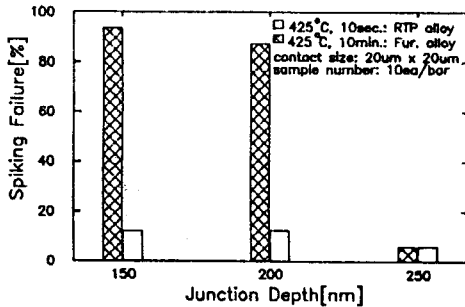


그림 2.5 집합 깊이에 따른 Junction Spike 현상

이제까지의 실험결과에서 Metal Alloy 공정에서는 Furnace 공정 조건보다 RTP 장치를 이용한 Alloy 공정이 전기적, 물리적 특성에서 우수하게 나타났다. 그러나 신뢰도와 재현성 문제에 대한 관점에서 몇가지 문제점을 안고 있다. 첫째로 에너지원인 Lamp의 문제이다. 램프를 여러 개 사용하므로서 램프간의 특성이 일정하지 않다는 점이다. 둘째로 전력제어에 대한 문제로 상간의 전압이 불균형하여 야기되는 램프의 특성이 일정하지 않다는 문제점이다. 셋째로 공정웨이퍼 자체를 온도 감지해야 함에도 Monitoring 웨이퍼의 온도를 감지하여 제어하는 문제로 실제로 공정웨이퍼와의 온도차이가 공정수행 때마다 일어날 수 있는 확률이 높아지는 문제이다. 이와 같은 장치의 문제점을 해결하기 위하여 다음 장에 램프를 하나만 갖는 새로운 RTP 장치를 제안하였다.

III. 새롭게 제안된 RTP 장치

1. 장치의 개략도

앞장에서 좋은 실험결과를 보여준 RTP 장치에 대한 신뢰성 및 재현성을 향상시키기 위하여 한 개를 램프를 사용한 Metal Alloy 용 RTP 장치에 대한 전체적개략도를 그림 3.1에 새롭게 제안하였다.

제안된 RTP 장치는 한 개의 램프와 반사경을 이용하여 Processing 웨이퍼에 일정한 에너지를 공급한다. 그리고 웨이퍼의 온도감지는 Monitoring 웨이퍼를 감지하지 않

고 공정웨이퍼의 온도를 감지하여 센서로 측정된 다음에 컴퓨터에 입력하여 원하는 온도가 되도록 Power 제어 장치를 통하여 램프의 빛 세기를 제어 한다.

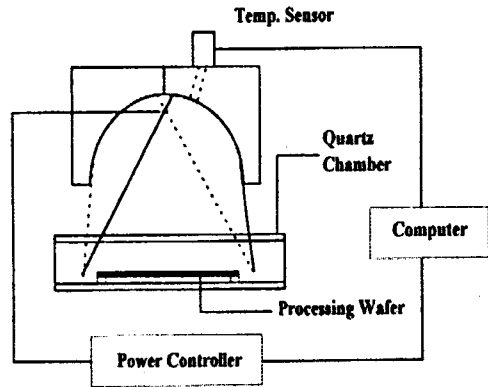


그림 3.1 새로운 RTP 장치의 개략도

이와 같은 장치일 경우 한 개의 램프를 에너지원으로 사용하므로, 여러개의 램프에 의한 문제점이 해결될 수 있으며 또한 온도감지를 직접적으로 하여 Monitoring 웨이퍼에 의한 간접감지에서 오는 문제점도 해결할 수 있다. 그리고 센서로 웨이퍼의 온도를 직접 감지하여 구조적으로 복잡했던 IR Filter를 제거할 수 있으므로 전체적으로 RTP 장치가 간단해져 RTP 장치의 신뢰성을 향상시킬 수 있다.

2. 반사경의 설계

제안된 RTP 장치에서 가장 중요한 것이 반사경이다. 이 반사경은 램프의 빛을 받아 웨이퍼에 일정한 온도분포가 형성되도록 곡률을 설계하여야 한다. 그림 3.2에 설계된 반사경을 나타내었다.

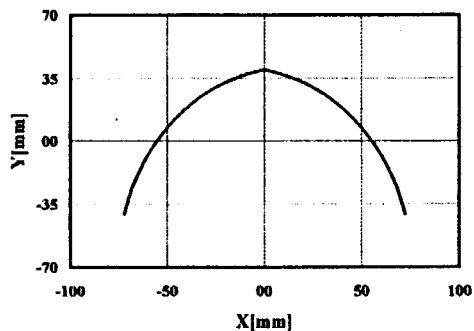


그림 3.2 일정한 Power 공급을 위해 설계된 반사경

가장자리에 약 10mm씩 Margin을 주어 반사경에서 반사된 빛은 X=-50mm에서 50mm까지 일정한 에너지를 공급하도록 설계되었다. 램프의 $d\theta$ 에서 방출된 빛이 웨이퍼의 $d\theta$ 에 입사된다면 아래식이 성립한다.^[6]

$$Pdh = \frac{I}{L} \frac{d\theta}{2\pi}$$

P : 웨이퍼에 입사되는 단위 면적당 에너지

I : 램프의 총 에너지

L : 램프의 길이

윗식에서 $d\theta$ 가 일정하다면 에너지 P는 $(dh)^{-1}$ 에 비례함을 알 수 있다. 그리고 반사경의 곡률 $r(\theta)$ 를 제어하여 주면 원하는 위치에 원하는 원하는 에너지를 공급함을 알 수 있다.

3. 에너지 분포에 대한 Simulation

제안된 RTP 장치를 이용하여 Alloy 공정을 수행할 경우 Chamber 내의 공정 웨이퍼 위치에 따른 웨이퍼의 에너지 분포에 대한 Simulation 결과가 그림 3.3에 나타나 있다.

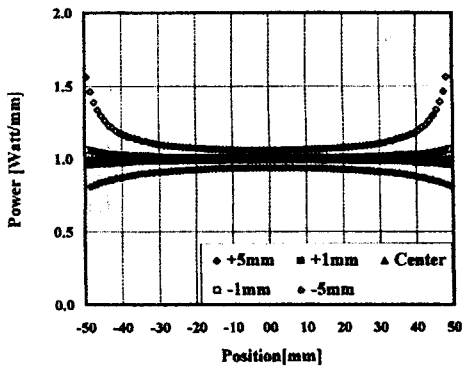


그림 3.3 Wafer 위치에 따른 Power 분포

여기서 웨이퍼의 X 방향은 일정하다고 가정하고 웨이퍼의 위치가 Y 방향으로 변화할 때 위치에 따른 에너지 분포에 대한 Sensitivity를 Simulation한 것이다. 웨이퍼의 위치가 Y 방향으로 $\pm 1\text{mm}$ 변화할 때 에너지분포는 거의 변화가 없음을 알 수 있고, Y 방향으로 $\pm 5\text{mm}$ 변화할 때 가장자리에서 에너지 분포가 변화함을 알 수 있다. 그러나 실제 웨이퍼의 Topology나 위치는 $\pm 1\text{mm}$ 이내로 제어가 가능하리라 생각된다. 여기서 위치에 따른 Sensitivity를 좀 더 향상시키려면 웨이퍼 가장자리에서의 Margin을 $\pm 10\text{mm}$ 이상으로 증가시킨다면 웨이퍼의 위치에 따른 Sensitivity를 향상시킬 수 있다.

IV. 결론

초미세 전자-소자 제조 공정 중 Metal Alloy 공정에 사용할 여러개의 텅스텐-할로젠 램프를 갖는 RTP 장치를 설계, 제작하였다. 이 RTP 장치에 의해 Alloy 공정을 수행할 경우 기존 Furnace를 이용한 Alloy 공정에서의 문제점인 Hillock현상, Junction Spiking 현상, Migration 현상 등이 현저히 감소하여 RTP 장치를 집적회로 제조공정에 이용할 수 있는 가능성을 보여주고 있다. 그러나 설계, 제작된 RTP 장치가 구조적으로 복잡하고 에너지원인 램프들간의 특성차이로 인하여 신뢰도에 문제점을 갖고 있다.

이와 같은 이유로 한 개의 램프에 의해 제어되는 Metal Alloy용 RTP 장치를 설계하였으며 램프로부터 웨이퍼에 가해지는 Power 분포를 균일하게 얻기 위하여 반사경의 곡률도 설계하였다. 설계된 장치를 이용하여 일정한 위치에 놓인 웨이퍼에 가해지는 Power의 균일도는 거의 변화가 없었다. 이 설계된 RTP 장치를 이용하여 Metal Alloy 공정을 수행하면 기존의 RTP장치보다 우수한 특성을 갖는 소자를 제작할 수 있고, Metal Alloy용 RTP 장치의 신뢰도가 크게 향상되어 초미세 전자-소자 제조 공정에 이용될 수 있을 것이다.

참고 문헌

- [1] B.R. Wilson, et als, "Rapid Annealing Technology for Future VLSI", Solid State Technology, June, 1985, p.185.
- [2] T.O Sedgwick, "Short Time Annealing", J. Elechem. Soc., Vol. 130, No. 2, 1983, p.484
- [3] J.T. Faith and C.P. Wu, "Elimination of Hillocks on Al-Si Metallization by Fast-neat-pulse-Alloying", Appl. Phys. Lett., Vol. 45, No. 4, 1984, p.470
- [4] 이동엽, 이영희, "알루미늄 열처리공정을 위한 고속 열처리장치의 설계 제작 및 성능평가", 대학전기학회 논문지, Vol. 40, No. 10, 1991, p.964~968
- [5] W.G. Driscoll, Near-infrared absorption for distilled water, McGraw-Hill Book Co., 1978
- [6] Jin-Ho Choi, Ho-Jun Song and Choong-Ki Kim, Journal of Electronic Materials, Vol. 20, No. 3, 1991, p.231~235