

반도체 제조산업중 웨이퍼 건조공정의 청정기술 적용을 위한 연구

장인성 *김재형

호서대학교 환경공학부, 슈퍼텍

(1998년 6월 11일 접수, 1998년 9월 31일 채택)

Development of environmentally sound technology for the wafer drying system

In-Soung Chang, *Jae-Hyung Kim

Dept. of Environmental Engineering, Hoseo University, *Super-Tech

요 약

반도체 소재인 웨이퍼의 세정공정중 마지막 단계인 건조공정을 환경친화적인 공정으로 개발하기 위한 연구를 수행하였다. IPA(Isopropyl Alcohol)를 기화시키는 증기발생실과 웨이퍼를 건조하는 공정실로 구분하여 시스템을 설계하고 이를 이용하여 건조실험을 실시하였다. 건조효율에 가장 큰 영향을 미치는 인자는 질소중의 IPA 농도로 나타났으며, 동일한 건조효율을 얻기 위해서 IPA의 사용량이 기존건조기보다 적은 것으로 나타났으며, 웨이퍼 표면이 수분과 산소로부터 차단되기 때문에 생산되는 웨이퍼의 입자오염이 감소하는 결과를 나타냈다.

ABSTRACT : An innovative wafer drying system was developed using Isopropyl alcohol (IPA) and nitrogen carrier gas in order to replace the commercial conventional drying system which was a non-environmentally friendly system. This system was designed as following ; the IPA evaporation chamber and the process chamber were separated to increase drying efficiency, and the carrier gas with the IPA vapor was delivered into the process chamber. It was investigated that the IPA concentration was the most important factor to operate the system. The optimum concentration was found to be 2.4 ml IPA/N₂ l. In addition, the optimum flow rate of the nitrogen gas were maintained more than 60 l/min.

1. 서 론

전자 및 정보통신이 고도로 발달된 현대사회에 있어서의 반도체 제조산업이 갖는 사회적인 역할은 매우 크다고 할 수 있다. 이는 산업, 생활 및 사회 구성구석에서 반도체가 사용되지 않는 곳이 거의

없으며, 그로 인해 반도체 제조 산업 뿐 아니라 관련산업의 파급효과가 지대하기 때문이다. 반도체 제조공정은 Fig. 1에 나타난 바와 같이 크게 3 단계로 나누어 볼 수 있다.

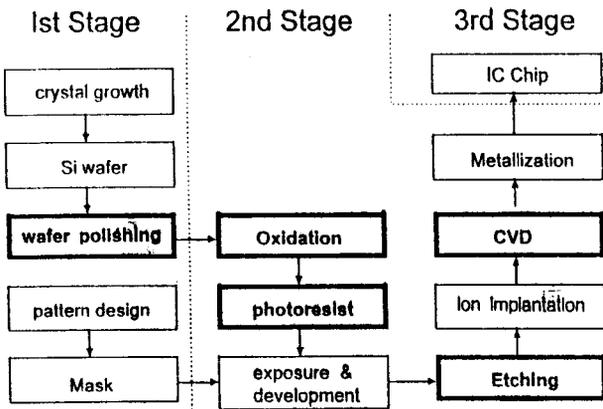


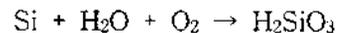
Fig. 1. Schematic block diagram of the wafer manufacturing process. ; bold rectangular denote process that should accompany cleaning

첫 번째 단계는 웨이퍼(Wafer)의 원료물질인 규소(Si)를 결정 성장시켜 실리콘 붕을 만들어서 절단한 후에 표면 연마과정(Surface polishing)을 거친 후 웨이퍼를 생산하는 공정이다. 두 번째 단계에서는 생산된 웨이퍼에 고온산화공정(Oxidation)을 통해 산화막을 형성시키고, 감광액(Photoresist)을 도포한다. 미리 설계된 회로에 의해 제작된 마스크(Mask)를 웨이퍼 위에 얹은 후에 노광(Exposure)과 현상(Development) 과정을 거쳐서 웨이퍼에 회로를 이식한다. 또한, 회로패턴을 만들어주기 위해 식각(Etching) 과정을 거치며 불순물을 주입(Doping)하여 전기소자의 특성을 만들어주고, 화학기상증착(Chemical vapour deposition)과정을 거친 후에 마지막 단계인 검사 및 조립과정으로 이동된다[1].

반도체 칩을 생산하기 위해서는 이와 같이 복잡하고 무수히 많은 공정을 거친다. 이러한 각각의 단위공정을 거치는 동안 웨이퍼의 표면은 각종 유기오염물질, 무기오염물질 및 입자들과 같은 다양한 오염원에 노출된다[2, 3, 4]. 따라서, Fig. 1에서 보는 바와 같이 각종 오염물질들을 제거하기 위해서 제조공정 중간에 세정공정(Cleaning process)을 반드시 실시한다. 세정공정은 아세톤, 알코올 및 1,1,1-Trichloroethane 과 같은 유기용매와 황산, 불산(HF) 및 왕수를 이용한 무기계 세정을 거친 후에 최종적으로 순수(Ultrapure water)로 세척(Rinsing)을 실시한

다[5, 6]. 세척작업이 완료된 후에는 웨이퍼 표면에 잔류하게 되는 물 성분을 완벽히 건조 제거해야만 다음 공정을 원활하게 수행할 수가 있다.

종래에는 이러한 건조를 위하여 원심분리를 이용한 회전식 건조방식을 채택하여 왔다. 그러나, 반도체 소자의 고집적화에 따라 선폭은 좁아지고 다층화 구조에 따라 깊이가 증가하기 때문에[7]이 방식으로는 완벽한 건조를 기대할 수가 없어졌다. 따라서 최근 들어서는 Isopropyl Alcohol(2-propanol)을 이용한 침전식 증기건조기 방식을 채택한 건조방식(Dip type drier)을 채택하고 있는 실정이다[8]. 그러나 이 방식은 건조기의 상부가 개방형이어서 건조공정중에 IPA가 다량 증발되어 경제적인 손실을 피할 수 없다. 또한 상부가 개방형이기 때문에 Isopropyl Alcohol(이하 IPA)의 증기발생을 위해 지속적으로 공급된 열에너지가 건조기 상부로 유실되는 단점이 존재하며, IPA가 건조기 상부로 누출되기 때문에 냄새로 인한 작업 환경의 악화를 초래하는 비환경친화적인 공정으로 판단된다[9]. 또한, 건조기 상부가 개방되어 있기 때문에 건조기 내부로의 공기 출입이 자유롭다. 따라서, 다음 식과 같이 웨이퍼 표면의 물과 공기(산소)가 반응하여 watermark를 형성하는 원인이 된다. Watermark는 반도체 제품 불량외의 큰 원인이 되므로 그 생성을 억제해야 된다. 건조기 내부에 산소가 존재하면 여러 가지 금속산화물의 생성원인이 되므로 웨이퍼의 생산에 좋지 않은 역할을 한다고 알려져 있다[10].



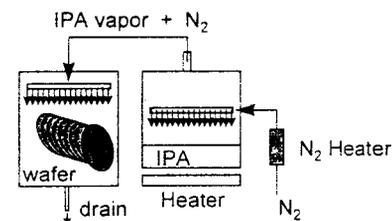
따라서, 본 연구에서는 IPA 및 열의 증발로 인한 경제적 손실을 방지하기 위해서 건조기 상부를 밀폐하여 IPA 및 열에너지가 유실되지 않는 건조공정을 개발하고자 하였다. 이와 같은 환경친화적인 공정이 확립되면 IPA 및 열에너지에 드는 비용절감뿐 아니라 작업환경 개선과 수분 및 산소차단에서 오는 품질향상과 같은 유익한 결과를 초래할 수 있는 장점이 있다.

2. 실험 방법

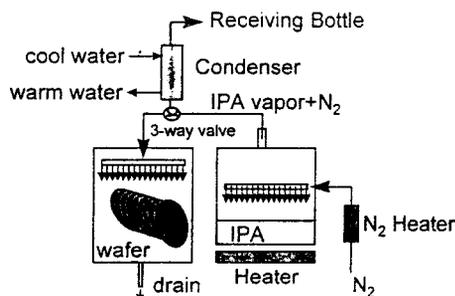
2.1 건조기

실험실 규모의 밀폐형 건조기를 제작하였다. 밀폐형의 건조기는 다음과 같은 개념으로 설계하였다. 밀폐형 건조기는 증기발생실(evaporation chamber)과 공정실(process chamber)로 분리하여 제작하였다. 증기발생실에서는 외부열원에 의한 가열로 IPA의 증기가 발생하게끔 하고, 생성된 IPA 증기는 외부에서 증기발생실로 주입되는 운반기체(carrier gas)인 질소에 의하여 공정실로 운송된다. 공정실에서 대기하고 있던 웨이퍼는 운송된 IPA 증기에 의하여 건조된다.

증기발생실 내부로 질소가 유입되게 하기 위해서, 석영으로 만든 관을 가열된 질소라인에 연결하였다. 석영관은 10개의 노즐이 증기발생실 하부를 향하게끔 설치되었다. 이와 같은 기본설계에 의해 Fig. 2(a)와 같은 건조기를 제작하였으며 이를 이용하여 연구를 실시하였다.



(a) before modification



(b) after modification

Fig. 2. (a) Schematic of the wafer-drying system
(b) modification of the system to measure the IPA concentration.

2.2 운전방법

증기발생실에서 IPA 증기를 발생시키기 위해 하부에 히터를 설치하여 내부의 온도를 80 ℃로 조절하였다. 증기발생실 내부에는 IPA 용액과 발생증기가 존재하는 부분에 모두 온도계(thermocouple)를 설치하였다. 또한 질소가스는 증기발생실에 유입되기 직전에 히터를 이용하여 120 ℃로 가온하였는데 이는 발생된 증기가 공정실에 유입되었을 때 질소가스의 낮은 온도로 인해 응축되지 않게 하기 위해서이다.

온도가 평형상태에 이르게 되면 증기발생실 상부의 밸브를 열어 질소가 발생된 IPA 증기를 공정실로 운반하게 한다. 이와 같은 상태를 2분간 지속한 후에, 증기발생실로 유입되는 밸브를 잠궜다 가열된 질소만 공정실로 유입되게 한다(5분). 실제 공정에서와 마찬가지로 6 inch 크기의 웨이퍼들을 카세트에 장착하여 초순수에 세정한 후에 공정실에 설치해 놓았다. 공정실 상부는 내부를 관찰할 수 있도록 유리로 만들었으며, 초시계로 목측하며 건조시간을 측정하였다.

2.3 재료 및 분석방법

건조에 사용되는 IPA은 반도체용 시약급을 사용했고, 질소유체 속의 IPA 농도분석을 위해서는 COD를 측정하였다. 이를 위해서는 Fig. 2(b)와같이 증기발생실에서 공정실로 연결된 라인의 중간에 응축기를 설치하여 기화된 IPA을 응축시켜 10 L의 용기에 받아서 시료로 사용하였다. COD는 정확한 분석을 위하여 $K_2Cr_2O_7$ 을 이용하여 흡광광도계로 측정하는 Standard Method 의 closed reflux 방법을 사용하였다[11]. 흡광광도법(DR2000, HACH, U.S.A.)으로 분석하여 질소 가스중의 IPA 농도를 계산하였다. 운반기체인 질소는 액화질소를 기화하여 유량을 조절한 후에 사용하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 증기발생실의 가열온도에 따른 건조효과

단위 시간 내에 많은 양의 IPA를 증발시키기 위해 증기발생실의 온도를 변화시켜가며 건조효율을 측정하였다(Fig. 3).

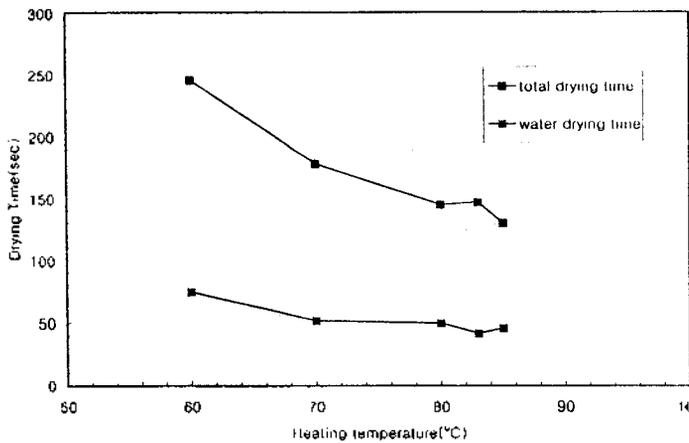


Fig. 3. Effect of heating temperature on drying time.

건조효과는 공정실의 웨이퍼 표면에서 물이 배출되는 시간(wafer drying time)과 IPA가 완전히 건조되는 시간(total drying time)을 측정함으로써 정량화 하였다. 그림에서 보듯이 가열 온도가 상승할수록 건조시간이 감소하는 것으로 나타났다. 이는 가열온도가 증가할수록 단위시간 내에 많은 양의 IPA 증기가 발생하기 때문에 공정실로 이동하는 IPA의 양이 증가하기 때문이다.

그러나 IPA의 끓는점(82.5 °C) 이상으로 가열하게 되면 건조효율에는 큰 진전이 없는 것으로 나타났다. 또한, 끓는점 이상으로 가열하게 되면 용액 자체에 포함되어 있는 여러 가지 불순물이 휘발하여 웨이퍼에 좋지 않은 영향을 미치므로 가급적 끓는점 이하로 가열하는 것이 적합하기 때문에 비등하지 않으면서도 충분한 IPA 증기를 발생시킬 수 있는 80 °C 가량이 적당한 가열온도라고 사료된다.

3.2 노즐수량에 따른 건조효과

증기발생실 내부에 존재하는 노즐의 수량에 따른 건조효율을 살펴보았다. 노즐은 증기발생실 중앙에 일직선으로 관통하면서 위치한다. 따라서 발생된 IPA 증기를 효과적으로 공정실로 운반하기 위해서는 어느 한 부분에 존재하는 IPA 증기만 공정실로 이송시키기 보다는 증기발생실 구석구석에 존재하는 IPA 증기를 가급적 균등(homogeneous)하게 운반되도록 하는 것이 중요하다고 사료되어진다. 따라서 증기발생실 내부의 노즐은 되도록 많이 존재하고 구석구석 존재하는 것이 유리하다고 사료되어진다. 이런 효과를 확인해보기 위해서 다음과 같은 실험

을 실시하였다. 즉, 노즐의 수를 2, 4, 6, 8, 10 개로 바꾸어가며 건조효과를 살펴보았다(Fig. 4).

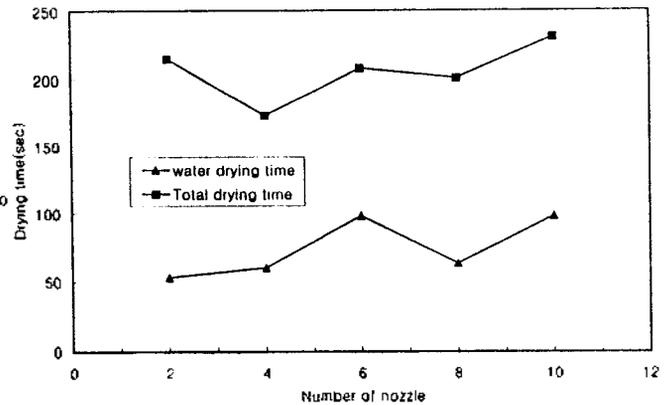


Fig. 4. Effect of number of nozzle on drying time.

그림에서 보듯이 건조효과는 노즐의 수와는 큰 상관관계가 있는 것처럼 보이지는 않는다. 이러한 현상은 노즐의 모양을 원형으로 하여 실험을 실시하였을 때에도 동일한 결과를 보였다. 이는 증기발생실의 용적이 질소의 유량(50 l/min.)에 비해 너무 작기 때문에 발생한 결과가 아닌가 사료된다. 즉, 질소유량이 작을 경우에 노즐의 수가 감소할수록 IPA 증기가 증기발생실 내부의 어느 한곳에 편재(localization)하는 현상이 발생한다. 그러나 유량이 충분히 크다면 중앙에 증기발생실 내부에 존재하는 IPA 증기와 구석에 존재하는 IPA 증기 모두가 순간적으로 공정실로 운반되어지기 때문에 건조효율의 차이가 발생하지 않는 것으로 보여진다. 이를 규명하기 위해서는 유체역학적인 전산모사를 통한 확인 작업을 거쳐야 된다고 사료된다. 또한나 생각해 볼 수 있는 것은 건조효율을 육안관찰에 의한 불확실성이다. 즉, 건조효율을 관찰하기 위해서는 웨이퍼 표면을 육안으로 관찰하여야 한다. 즉, 질소가 IPA를 운반하여 표면의 물방울을 치환시켜나가는 시간(water drying time)을 관찰하여야 하며, 최종적으로 웨이퍼 표면에 IPA가 사라지는 시간(total drying time)을 측정하여야만 한다. 그러나 이 과정은 실험자의 육안에 의존하여야만 하므로 실험자의 숙련도

나 신체상태에 따라 크게 달라질 수 있다. 따라서 이와 같은 건조시간을 정량화 시킬 수 있는 과학적인 방법의 개발이 필수적이라고 할 수 있다. 위의 실험결과가 어떤 원인으로부터 출발하였는지는 확인해보기 위해서 건조효율을 정량화 하였다.

3.3 건조효율의 정량화

위에서 언급한대로 질소 가스 중에 존재하는 IPA의 양, 즉 IPA 농도(mg/m³)를 정량화할 수 있는 방법을 개발하는 것이 중요하다고 사료된다. 이와 같은 방법을 강구하기 위해서는 일단 증기상태의 IPA를 응축시키는 것이 필요하다. 즉, 증기발생실에서 공정실로 운반되어지는 라인에서 분기하여 응축기를 장치하여 기체상태의 IPA를 액체상태로 응축시키는 것이다. 증기발생실에서 발생한 IPA 증기를 공정실로 보내어서 건조시간을 육안 관찰한 후, 밸브를 조작하여 IPA 증기를 응축기로 보내는 것이다. 건조실험과 같은 시간동안 응축기로 IPA 증기를 흘려서 물이 담긴 용기에 포집한다. IPA의 물에 대한 용해도는 매우 크기 때문에($\infty/100$ g water)[12] 모든 IPA를 응축 회수할 수 있다. 일단 응축된 IPA를 분석하기 위해 여러 가지 방법의 정량분석법을 생각해 볼 수 있다. 첫 번째로는 흡광광도계(spectrophotometer)를 이용한 방법이다. 그러나 IPA 자체는 특별한 발색단(chromophores)을 가지고 있지 않으므로 정량에는 어려움이 예상된다. 다음은 가스-크로마토그래프(gas chromatograph)를 이용한 방법을 생각해 볼 수 있다. IPA는 쉽게 GC에 의해 분리되므로 정량할 수 있다. 또한, 응축된 IPA의 COD나 총유기탄소(Total Organic Carbon) 등을 측정하여 간단한 환산에 의해 IPA의 농도를 측정할 수 있다. 본 연구에서는 COD를 이용한 분석을 실시하여 IPA의 농도를 환산하였다. 우선 IPA의 양과 COD와의 상관관계를 알아보기 위하여 검량선을 작성하였다. Fig. 5에 그 둘의 상관관계를 나타내었다. r² 값(regression coefficient)이 0.9926 정도이므로 충분한 상관관계가 있음을 알 수 있다. 이 검량선을 이용하여 측정된 COD로부터 IPA의 농도를 역산할 수 있다.

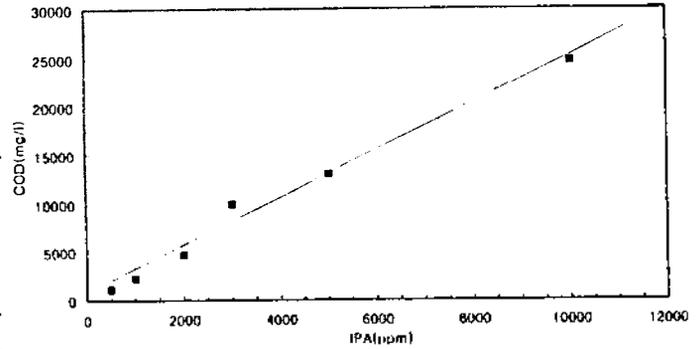


Fig. 5. Calibration curve for the IPA solution according to COD.

3.4 질소의 유량변화에 따른 건조효율

운반기체인 질소의 유량에 변화를 주었을 때의 건조효과를 비교해보았다(Fig. 6).

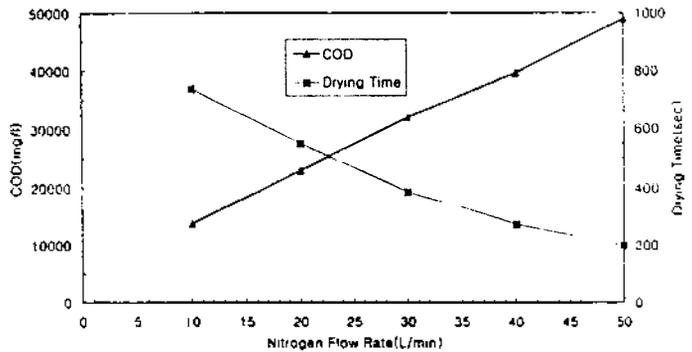


Fig. 6. Effect of nitrogen flow rate drying efficiency.

질소의 유량이 증가할수록 건조시간은 감소하고 있는 것을 관찰할 수 있었다. 즉, 유량이 증가하면 단위시간내에 더 많은 양의 IPA를 공정실로 운반할 수 있기 때문에 건조시간이 짧아지는 것으로 해석할 수 있다. 아울러 질소유량이 증가할수록 응축액의 COD 역시 증가하고 있는 것을 관찰할 수 있으며, 이는 위의 가정을 실험적으로 뒷받침하고 있다. 결국 건조효율에 영향을 미치는 결정적인 요인은 IPA의 농도이다. 즉, 많은 양의 IPA가 단위시간 내에 공정실로 유입되도록 하는 것이 건조시간을 단축하는 방법이라는 결론을 내릴 수 있다.

그러나 무한정 질소의 유량을 늘릴 수는 없다. 왜냐하면 단위 시간 내에 증발되는 IPA의 양은 일정하므로 어느 정도 유량 이상이 되어도 운반되어지는 IPA 양은 더 이상 증가하지 않기 때문이다. 결국, 질소의 유량과 IPA의 증발속도가 균형을 맞

추어야 한다고 볼 수 있다. 본 연구에 사용된 실험 장비로는 약 60 l/min. 정도의 유량까지만 운전할 수 있기 때문에 질소유량 변화에 따른 건조효율에 대한 실험을 다시 실시하여 보았다(Fig. 7).

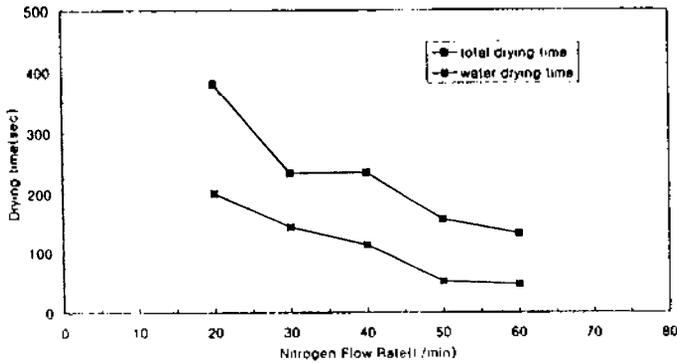


Fig. 7. Effect of N₂ flow rate on drying time.

유량이 약 60 l/min에 도달하면 건조시간의 감소정도가 급격히 둔화되는 것을 알 수 있다. 더 이상의 유량증가는 실험장치상 불가능하여서 실시하지 못하였다. 따라서, 약 60 l/min. 혹은 그보다 약간 큰 범위의 유량이 최적의 질소 유량이라고 결론 지을 수 있다.

이와 같은 사실로부터 질소 유체속에 존재하는 IPA의 양을 다음과 같은 방법으로 계산할 수 있다. 질소의 유량이 60 l/min. 이고 발생한 IPA를 공정실에 2분간 흘려주었을 경우에 Fig. 6으로부터 ($COD = 5400 + 870 \times \text{유량}$), COD는 57,600 mg/l임을 알 수 있다. 이를 다시 Fig. 5로부터 ($COD = 414 + 2.48 \times \text{IPA}$) 역산하면 IPA 농도는 23,059 mg/l임을 알 수 있다. 이 수치는 물에 대한 IPA의 용해도이다. 즉, Fig. 2-(b)에서 표시된 수집병(receiving bottle)에 포집된 IPA의 농도인 셈이다. 수집병에 차 있는 물의 양은 10 l이었으므로 포집된 IPA의 양은 230,590 mg으로 계산된다. 한편 2분 동안 흘러간 질소의 양은 $60 \text{ l/min.} \times 2 \text{ min.} = 120 \text{ l}$ 이다. 따라서, 위와 같은 조건에서 운반기체인 질소 속에 존재하는 IPA의 양은 $230,590 \text{ mg} / 120 \text{ l} = 1.9 \text{ g/l}$ 로 계산된다. 이를 다시 IPA의 비중값(0.786)으로부터 부피로 환산하면 2.4 ml IPA/N₂ l가 된다. 즉, 평균농도 2.4 ml IPA/N₂ l로 운전하면 충분한 건조효

율을 얻을 수 있다는 결론을 내릴 수 있다.

3.5 신건조기의 이론적 해석

새로운 건조공정의 전 과정에 대한 기작을 해석하여 새로운 공정의 이론적인 발판을 마련하고자 하였다. 새로 개발된 공정에서는 운반기체인 질소(N₂)가 큰 역할을 하므로 기존의 공정과는 다른 건조과정을 따른다. 그러나 건조가 수행되는 가장 큰 구동력은 역시 기존에 알려져 있는 Marangoni의 원리[13]에 의해서이다. 이는 표면장력이 작은 물질인 IPA(18.96 mN/m at 50 °C)가 표면장력이 비교적 큰 물(67.94 mN/m at 50 °C)을 웨이퍼 표면으로부터 치환시켜나가는 원리이다(Fig. 8).

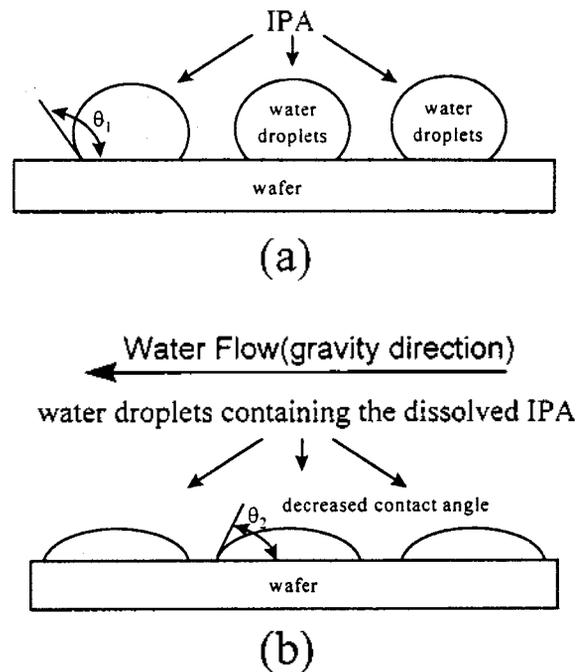


Fig. 8. Simplified illustration of the principle of IPA dryer.

즉, 공정실에서 IPA는 물방울 속으로 녹아 들어가거나 웨이퍼 표면을 차지하게 되는데 이는 기존의 물방울들의 접촉각(Contact angle)을 크게 감소시켜준다. 따라서 물방울들은 웨이퍼 표면에 퍼지게 되므로(spreading) 중력방향으로의 흐름을 형성하게 된다. 결국 물방울들이 IPA와 치환되어 건조가 수행되는 것이다. 또한, 질소가스가 지속적으로 웨이퍼 표면으로 IPA의 증기를 공급하기 때문에 기존의 건조기보다 물방울의 치환속도가 증가하므로 보다

효율적인 건조가 수행되어 진다.

3.6 청정생산기술 관점에서의 신건조기의 평가

본 연구에서 개발된 건조기의 시제품을 실제 반도체 생산공정에 적용시켜 보았다. 국내 모 전자 회사의 생산라인에 신건조기를 투입하여 성능을 평가한 후에 회사가 제시한 오염도 평가자료를 Table 1에 제시하였다. 새 가지 건조기 모두 동일한 건조 효율을 얻기 위한 조건으로 운전하였을 때의 자료로 비교하였다.

Table 1. Counting of Number of Particles(> 0.16 m) for 1 month

	New Dryer	DIP Type	Spin Dryer
Average	2.7	19.8	39.0
Deviation	5.8	51.9	39.8

표에서 알 수 있듯이 신건조기의 입자에 의한 오염 가능성은 기존 건조기보다 월등히 작은 것으로 나타났다. 이는 전술한 바와 같이 신건조기가 공기와 수분으로부터 차단되었기 때문에 웨이퍼 표면의 입자오염이 현저히 감소되었기 때문으로 사료된다.

Table 2는 공장에서 제시한 신건조기의 경제성 평가자료이다. 신건조기는 기존의 건조기보다 IPA 소모량이 적을 뿐 아니라 입자오염을 감소시키기 위한 추가비용이 전혀 들지 않는다. 결국 건조기 1대당 1년간 5,500만원의 원가절감이 예상된다. 또한, 상부가 개방형인 건조기는 IPA가 작업환경으로 노출되기 때문에 방폭 및 방화설비를 갖추어야 한다. 이에 필요한 경비는 계산되지 못했지만 상당부분의 비용이 예상된다. Table 2에서는 계산되지 않았지만 IPA를 가열하기 위해 사용되는 에너지 비용도 상당부분 줄일 수 있을 것으로 예상된다. 왜냐하면 개방형 건조기는 작업을 위해 상부가 개폐를 반복하므로 항상 IPA를 증기 상태로 만들기 위한 에너지 소비가 더 많기 때문이다.

Table 2. Economic Balance for the Wafer Dryer*

	New Dryer	DIP Type
IPA Consumption	15,000,000	30,000,000
additional cost of the particle removal	-	40,000,000
nitrogen	resuable	0
safety	-	fire proof, explosion proof

* based on ₩/(year×dryer)

신건조기의 경제성 평가에서 단점으로 지적될 수 있는 것은 질소의 사용으로 인한 추가비용의 발생이다. 상당량의 질소가 사용되기 때문에 비용부담이 증가할 것으로 예상된다. 그러나, 질소는 재사용할 수 있기 때문에 추가로 재생장치(reprocessing unit) 및 순환장치(recirculation unit)를 고안하면 이 문제는 해결될 것으로 사료된다. 본 연구에서는 이와 같은 재사용장치에 대해서는 관심을 기울이지 않았으나 현 기술수준으로 볼 때 개발에 큰 어려움이 있지는 않을 것으로 예상된다.

4. 결 론

증기발생실과 공정실이 분리된 새로운 형태의 웨이퍼 건조기를 고안하여 연구하여 본 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 건조효율에 가장 큰 영향을 미치는 인자는 질소중의 IPA 농도로 나타났으며 그 값은 2.4 ml IPA/N₂ l가 된다.
- 2) 동일한 건조효율을 얻기 위해서 IPA의 사용량과 에너지 손실이 적고, IPA가 작업환경으로 유출되지 않기 때문에 기존 건조기보다 환경친화적이다.
- 3) 웨이퍼 표면이 수분과 산소로부터 차단되기 때문에 생산되는 웨이퍼의 입자오염이 감소한다.

감사의 글

본 연구는 한국과학재단 지정 호서대학교 반도체 제조장비 국산화 연구센터의 지원에 의한 것입니다.

참고문헌

1. 김종성, 실리콘 공정기술 입문, 동영출판사(1996)
2. Norga G.J., Platero M., Black K.A., Reddy A.J., Michel J. and Kimerling L.C., Journal of Electrochemical Society, 144(8), (1997)
3. Kim H.W. and Rief R., Thin Solid Films, 305, (1997)
4. Norga G.J. and Kimerling L.C., Journal of Electronic Materials 24(4), 1995
5. Bender L.L., Zou G., Mertens P.W., Meuris M.A. and Heyns M.M., Journal of Electrochemical Society, 143(1), (1996)
6. Roche T.S. and Peterson T.W., Solid State Technology, 39(12), (1996)
7. 채승기, 대한기계학회지, 35(5), 398(1995)
8. Park J.G. and Pas M.F., Journal of Electrochemical Society, 142(6), (1995)
9. 장인성, 임효재, 과학재단 지정 반도체 제조장비 국산화연구센터 연차보고서, (1997)
10. Hayami Y., Suzuki M.T., Okui Y., Ogawa H., Fujimura S., Japanese Journal of Applied Physics, 35(8), (1996)
11. APHA, Standard Methods, 19th ed.(1995)
12. Fessenden R.J. and Fessenden J.S., Organic Chemistry, Willard Grant Press, 257(1982)
13. Wolke K., Eitel B., Schenkl M., Reummelin S. and Schild R., Solid State Technology, 39(8), (1996)