

실리콘 웨이퍼 생산공정용 왁스 스펀코팅장치 내 기류 특성에 대한 3차원 전산유동해석

김용기*, 김동주#, 우마로프 알리세르**, 김경진***, 박준영****

A Three-Dimensional CFD Study on the Air Flow Characteristics in a Wax Spin Coater for Silicon Wafer Manufacturing

Yong-Ki Kim*, Dong-Joo Kim#, Alisher Umarov**, Kyoung-Jin Kim***, Jun-Young Park****

(Received 18 November 2011; received in revised form 24 November 2011; accepted 6 December 2011)

ABSTRACT

Wax spin coating is a part of several wafer handling processes in the silicon wafer polishing station. It is important to ensure the wax layer free of contamination to achieve the high degree of planarization on wafers after wafer polishing. Three-dimensional air flow characteristics in a wax spin coater are numerically investigated using computational fluid dynamics techniques. When the bottom of the wax spin coater is closed, there exists a significant recirculation zone over the rotating ceramic block. This recirculation zone can be the source of wax layer contamination at any rotational speed and should be avoided to maintain high wafer polishing quality. Thus, four air suction ducts are installed at the bottom of the wax spin coater in order to control the air flow pattern over the ceramic block. Present computational results show that the air suction from the bottom is quite an effective method to remove or minimize the recirculation zone over the ceramic block and the wax coating layer.

Key Words : Silicon Wafer(실리콘 웨이퍼), Wax Spin Coater(왁스 스펀코터), Wafer Polishing Station(웨이퍼 연마장비), 3D Air Flow(3차원 기류), CFD Simulation(전산유동해석)

1. 서 론

반도체 소자의 소재로 광범위하게 사용되고 있는 실리콘 웨이퍼는 여러 단계의 초정밀 제조 공정을 거쳐 생산된

다. 여러 웨이퍼 제조 공정의 하나인 웨이퍼 표면 연마공정에서는 실리콘 잉곳 절단공정 등 여러 제조공정을 거치면서 거칠어진 웨이퍼의 표면을 평탄하게 만들고 표면의 결점을 제거하게 된다. 반도체 고집적화 기술의 지속적인 진보에 따라 웨이퍼의 표면 품질에 대한 반도체 산업계의 요구 수준은 점점 높아지고 있다. 따라서 웨이퍼 표면 품질을 판단하는 산업기준인 웨이퍼 평탄도(degree of planarization) 및 국부적 미세조도(microroughness)를 향상시켜야 할 필요성이 있으며, 이에 따라 웨이퍼 표면 연마공정의 초정밀화가 필요하다^{1,2)}.

* 금오공과대학교 대학원 기계시스템공학과

교신저자 : 금오공과대학교 기계공학과

E-mail : kdj@kumoh.ac.kr

** 금오공과대학교 대학원 기계공학과

*** 금오공과대학교 기계시스템공학과

**** 금오공과대학교 기계설계공학과

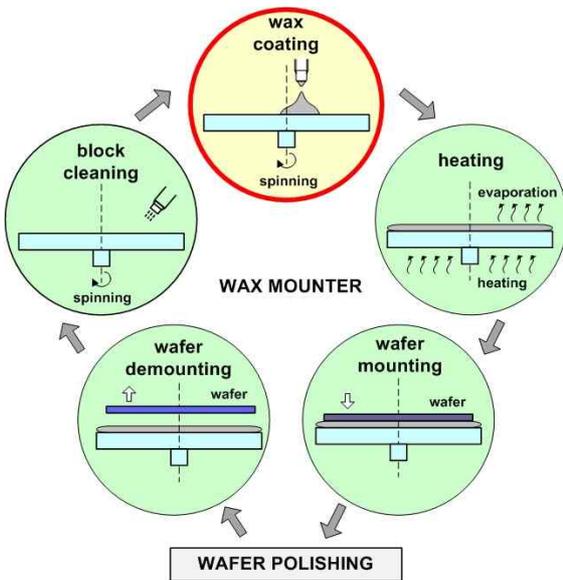


Fig. 1 Process flow in silicon wafer polishing station for silicon wafer manufacturing

앞서 언급된 실리콘 웨이퍼 연마공정을 수행하는 웨이퍼 연마스테이션의 세부공정도가 Fig. 1에 개략적으로 나타나 있다. 웨이퍼는 표면 연마에 들어가기 전 후에 웨이퍼를 연마헤드에 장착 및 탈착시키는 웨이퍼 연마 준비공정이 필요하다. 웨이퍼의 표면 연마는 초고도의 정밀성을 요구하는 공정이므로 웨이퍼의 표면품질은 웨이퍼가 연마헤드에 장착되는 방식 및 그 장착 정밀도에 크게 좌우될 수 있다.

웨이퍼 연마스테이션은 연마공정 장치와 연마준비 장치로 구성되는데, 현재 산업현장에서 웨이퍼를 연마헤드에 장착하기 위해 얇게 도포된 액상의 왁스를 이용하여 웨이퍼를 부착시키는 왁스방식^[3]과 다공성 패드의 흡인력을 이용하여 웨이퍼를 부착시키는 왁스리스방식^[4]이 쓰이고 있다. 본 연구에서는 생산현장에서 주로 채택하는 왁스방식의 웨이퍼 장착에 사용되는 왁스 마운터를 대상으로 한다.

왁스 마운터에서의 웨이퍼 핸들링 세부 공정단계를 Fig. 1에서 살펴보면, 먼저 고도의 평탄도를 갖는 세라믹 블록에 스�핀코팅 방식으로 10마이크론 정도로 매우 얇고 균일한 왁스 코팅층을 확보한 후에 열처리 공정을 거쳐 웨이퍼가 블록 표면에 부착된다. 웨이퍼가 부착된 세라믹 블록은 각 연마단계로 이송되어 해

당 연마헤드에 장착되어 연마공정이 진행되며, 다시 왁스 마운터로 이송된 후 세라믹 블록에서 탈착되어 카세트에 담기고 세라믹 블록은 세정작업을 거치게 된다.

여기서 왁스 마운터의 핵심장치인 스�핀코팅장치에서 웨이퍼가 부착될 세라믹 블록에 균일한 왁스 코팅층이 확보되지 않거나 공기기포, 미립입자 등으로 코팅층이 오염된다면 웨이퍼 연마 시 목표로 하는 고도의 웨이퍼 평탄도를 이룰 수가 없다. 이러한 정밀공정이 필요한 스�핀코팅장치에서 고속회전으로 발생하는 코팅대상인 세라믹 블록 표면상 및 그 주위의 공기유동이 균일 왁스 코팅층 형성에 영향을 줄 수 있다.

지금까지 반도체소자 제조공정에서 실리콘 웨이퍼 표면에 감광제 도포작업을 수행하는 스�핀코팅에 대한 연구는 상대적으로 활발히 진행된 바 있으나^[5-7], 실리콘 웨이퍼 생산의 연마 준비공정에서 웨이퍼가 아닌 웨이퍼가 장착될 세라믹 블록의 왁스층 도포에 사용되는 스�핀코팅장치에 관한 연구는 수행된 바가 거의 없다. 다만 본 저자들이 의해 스�핀코팅장치에 대한 2차원적 유동해석이 수행된 바 있다^[3]. 본 연구에서는 실리콘 웨이퍼 표면연마 공정장비의 일부인 스�핀코팅장치에 대하여 3차원적 공기유동을 전산유체역학(CFD)기법으로 해석하여 왁스 코팅층의 입자 오염 등의 문제 원인과 이에 대한 기술적 대응방안을 살펴보고자 한다.

2. 해석대상 및 방법

2.1 스�핀코팅장치 구조

본 연구에서는 8인치 실리콘 웨이퍼용 연마스테이션의 연마준비 공정장비의 일부인 스�핀코팅장치를 대상으로 한다. 이 장치는 Fig. 2에서 보는 바와 같이 세라믹 블록을 장착하여 회전구동을 수행하는 서보모터가 주요부이며, 이를 감싸는 케치캡 케이싱이 있어 스�핀코팅 시 세라믹 블록 밖으로 넘치는 왁스가 장치 외부로 누출되지 않도록 한다. 세라믹 블록이 장착되는 선반은 상하 이동이 가능하여 세라믹 블록이 로봁압에 의하여 탈부착이 될 때는 케이싱 위로 이동하며, 세라믹 블록이 회전하며 왁스가 도포될 때에는 Fig.

2와 같이 케이싱 내부로 이동한다. 참고로 케이싱 외부에 왁스 공급 및 세정작업을 위한 부가장치가 갖추어진다.

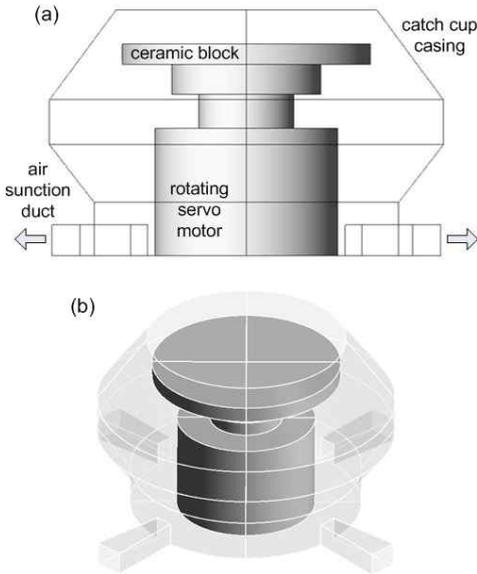


Fig. 2 Schematic of a wax spin coater: (a) cross-sectional view; (b) three-dimensional view

본 연구에서는 스펀코팅장치 내부의 서보모터부 및 이에 장착된 세라믹 블록이 고속회전하는 스펀코팅 시에 장치 내부 및 세라믹 블록 표면상의 공기유동에 대한 3차원적 전산해석을 수행하였다. 이러한 장치 내부 및 주변의 기류해석에 대한 유동계산 영역에는 회전하는 세라믹 블록 및 서보모터부와 케이싱 사이의 장치 내부와 함께 외부에서의 공기유입을 고려하기 위한 세라믹 블록 위의 외부공기 영역이 포함되어 있다.

세라믹 블록을 포함한 회전부의 높이는 20.6cm이며 케이싱 상단부의 높이는 24cm이다. 외부공기 영역의 높이는 30cm로 충분히 주어 세라믹 블록 표면에 생겨나는 재순환 유동을 해석할 수 있도록 하였다. 8인치 웨이퍼 장착이 가능한 세라믹 블록의 직경 및 두께는 각각 24cm 및 2cm로서 실제 산업현장에서 사용되는 장치의 크기이다. 또한 Fig. 2에서와 같이 회전하는 세라믹 블록 상의 기류의 제어를 위하여 케이싱 최하단에 4개의 공기흡입덕트를 마련하였으며, 각 공기흡입

덕트 출구의 단면적은 3cm×3.88cm이다. 공기흡입덕트를 통한 공기흡입량(LPM, liter per minute)은 흡입구 출구에서 음압을 주어 조절하였다.

2.2 기류 전산해석 방법

액상의 왁스층은 두께가 매우 얇으므로 세라믹 블록 상의 기류에는 영향을 주지 않는다고 할 수 있어 왁스층은 해석에서 고려되지 않았다. 장치 내부 및 주위의 공기유동은 비압축성 정상유동이라고 가정하였다. 또한, 높은 회전수에 따라 공기유동은 난류라고 가정하였으며, 난류 유동장을 해석하기 위하여 Renormalization Group 이론에 기반을 둔 RNG k-ε 난류 모델을 사용하였다. 적용된 난류모델은 일반적인 표준 k-ε 난류모델에 비하여 본 연구의 대상인 공기유동에서 나타나는 강한 선회 및 와류유동의 해석에 높은 예측 정확도를 가진다고 알려져 있다^[8].

레이놀즈 평균 연속방정식 및 운동량방정식 그리고 난류운동에너지 및 난류운동에너지 소산율에 대한 난류 수송방정식 등 일련의 유동 지배방정식들은 미소 제어체적방정식을 기반으로 하여 이산화되었으며, 수치계산에는 범용 유동해석 소프트웨어인 FLUENT 6.3이 사용되었다. 3차원 전산해석은 전체영역 1/4만을 대상으로 수행되었으며 주기조건이 이용되었다. 전산해석에 사용된 계산격자계는 GAMBIT에서 2차원 격자를 만든 후 회전방향으로 스윙하여 생성된 비정렬 3차원 격자로 구성되는데, 다만 공기흡입덕트는 육면체 형태의 정렬격자계가 적용되었다. 총 계산격자 수는 약 107만개이다.

3. 결과 및 토론

실제 웨이퍼 제조공정에서 웨이퍼 생산용 스펀코팅 장치의 회전속도는 300~500rpm 정도인데, 본 연구에서는 100rpm의 저속에서부터 1000rpm까지의 고속회전까지를 해석대상 회전속도로 삼아 장치의 회전속도가 장치 주위의 기류에 미치는 영향을 알아보았다. 그리고 공기흡입덕트를 통한 공기흡입의 정도가 스펀코팅장치 내부 및 주위의 공기유동, 그리고 특히 왁스 스펀코팅이 이루어지는 세라믹 블록 상의 기류제어에 미치는 영향을 해석하였다.

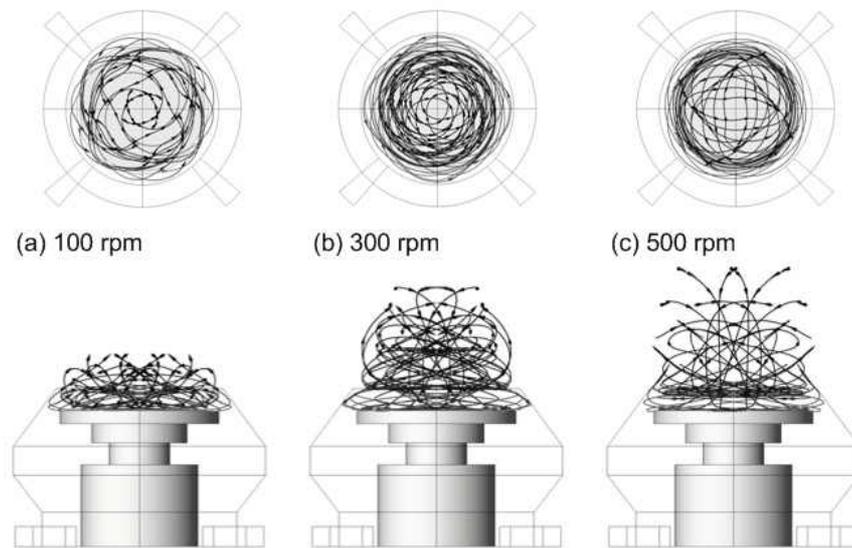


Fig. 3 Effects of rotational speed of wax spin coater on the air flow passages over the rotating ceramic block of a spin coater with air suction duct closed

먼저 모든 공기흡입덕트를 완전히 밀폐한 경우에 대한 왁스 스펀코팅장치 내부 및 주위에서의 기류에 대해 3차원 전산해석을 수행하여 코팅층 형성에 악영향을 줄 수 있는 세라믹 블록 상에서의 기류의 문제점을 분석하였다. 서보모터부 및 세라믹 블록의 회전속도가 100, 300, 500, 1000rpm인 경우에 대한 기류계산 결과를 이용하여 세라믹 블록 상의 공기입자 유동선을 산출하여 Fig. 3에 표현하였다. 참고로 회전하는 세라믹 블록 상에서 중심축에서 반경방향으로 4개 위치에서 시작되는 유동선을 대상으로 하였다.

모든 회전속도 경우에 대하여 회전하는 세라믹 블록 상에 기류의 재순환 유동영역이 존재함을 볼 수 있으며, 이에 따라 유동선도 세라믹 블록 상에서 재순환되고 장치 내부의 기류와는 단절되는 현상을 볼 수 있다. 비교적 저속인 100rpm인 경우에는 유동선의 재순환이 세라믹 블록 상 가까운 곳에 제한되고 있는데, 회전속도가 증가함에 따라 재순환 영역이 장치 위로 확대가 되고 있다.

스핀코팅에 의하여 왁스 코팅층이 형성될 세라믹 블록 표면에 이러한 재순환 기류가 존재하는 것은 코팅층 품질을 볼 때 좋지 않은 영향을 주는 현상으로, 회전에 따라 블록 표면에서 떨어져 나가는 왁스의 미

세 액적이나 외부에서 블록 주위로 유입된 먼지 등의 오염입자가 유동 재순환을 타고 다시 코팅층으로 되돌아 올 수 있다. 따라서 코팅층 상의 재순환 유동구조는 균일하고 오염 없는 코팅층 형성에 악영향을 미칠 수 있다. 이렇게 스펀코팅장치의 내부가 밀폐되었을 때 발생하는 재순환 기류의 문제점을 해결할 필요성이 있다.

스핀코팅장치의 설계에서 세라믹 블록 상의 재순환 기류 유동을 제거 또는 최소화할 필요성이 있으며, 이를 실현할 방안으로 장치 내부에 공기 배기구를 설치하여 기류를 제어하는 방법을 본 연구에서는 적용하였다. 단순히 배기구의 입구를 개방한 경우는 재순환 기류 문제 개선에 크게 도움이 되지 않음은 선행연구^[3]에서 보인 바 있다. 따라서 장치 내부 하단에 설치된 4개의 공기흡입구를 통하여 강제적인 공기흡입이 이루어지도록 음압을 가하였으며, 공기흡입량의 정도에 따라 세라믹 블록 상의 기류가 어떠한 영향을 받는지를 분석하였다.

Fig. 4에서는 실제 웨이퍼 생산공정에서 적용되는 스펀코팅장치의 회전속도에 해당하는 500rpm 경우에 대하여 공기흡입량의 정도가 왁스 코팅층이 존재하는 코팅 타겟 상부 및 장치 내부에서의 기류 형성에 미치

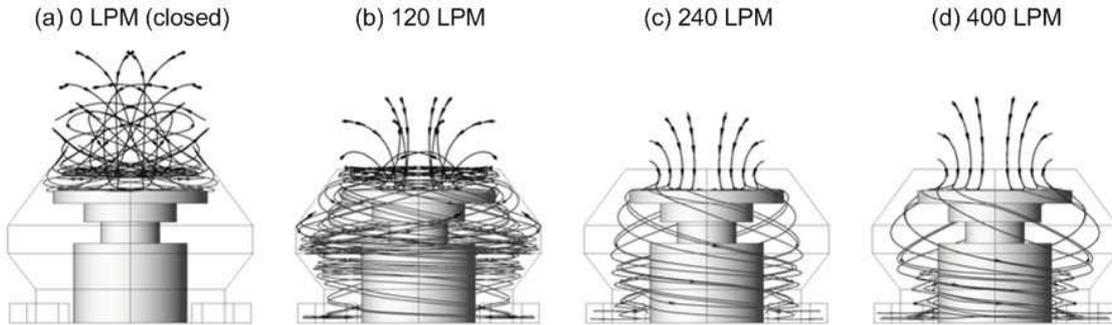


Fig. 4 Effects of air suction rate from the bottom on the air flow passages in a wax spin coater at the rotational speed of 500rpm

는 영향을 살펴보았다. 공기흡입이 없을 경우(0LPM)와 비교해보면 장치 하부에서의 공기흡입을 통하여 세라믹 블록 상의 기류의 재순환 영역이 제거되고, 장치 외부에서 유입되는 기류가 블록 표면을 타고 곧바로 장치 내부로 들어가 공기흡입구로 빠져 나감을 볼 수 있다. 공기흡입량이 증가할수록 세라믹 블록 표면의 기류의 유동선이 더욱 단순해지며 오염입자가 코팅 층 상부에 머무름을 최소화하게 된다.

Fig. 4(b)와 같이 공기흡입량이 불충분하다면 타겟 표면상에서 기류 재순환 영역이 남아있게 되어 충분한 공기흡입량이 필요하며, 회전속도가 증가할수록 이러한 요구 공기흡입량도 증가하게 된다. 다만 요구 공기흡입량을 넘어선다면 공기흡입량을 늘이더라도 장치 주위의 기류 구조는 더 이상 크게 변하지 않게 된다.

장치 하단부에서의 공기흡입을 위해서 흡입구 출구에서 음압을 적용하게 되는데, Fig. 4(b), (c), (d)의 경우에는 각각 1, 3, 6Pa의 음압이 적용된 결과이다. 하지만 동일한 음압이 적용되더라도 스펀코팅장치의 회전수에 따라 공기흡입량이 영향을 받을 수가 있다. 이에 적용 음압에 대하여 100, 300, 500, 1000rpm의 회전속도일 때의 공기흡입량을 계산한 결과를 Fig. 5에 나타내었다. 상대적으로 낮은 회전속도에 대해서는 동일한 음압으로 인한 공기흡입량이 거의 일정하다. 이에 비하여 1000rpm 정도의 고속이 되면 동일한 음압에 대한 공기흡입량이 상당히 감소하게 된다. 따라서 장치의 회전수가 높아질수록 공기흡입의 효과가 감소하기에 이를 고려한 왁스 스펀코팅장치의 운용이 필요하게 된다.

4. 결 론

본 연구에서는 실리콘 웨이퍼 연마장비의 준비공정에 해당하는 왁스 스펀코팅장치에서 코팅 타겟인 세라믹 블록의 회전에 따른 입자 오염 위험성 및 코팅층 생성에 악영향을 줄 가능성이 있는 기류 재순환의 문제점을 3차원 전산유체유동해석 기법으로 조사하였다.

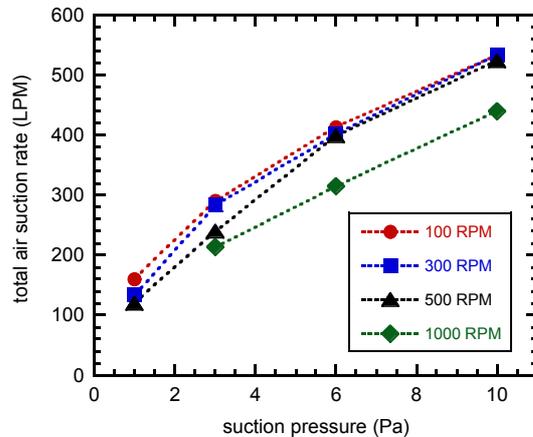


Fig. 5 Effects of air suction pressure on the air suction rate at various levels of rotational speed of wax spin coater

장치의 내부가 완전히 밀폐된다면 세라믹 블록 상에서 기류 재순환영역이 발견되어 왁스 코팅 표면상의 오염 위험성을 야기할 수 있음을 확인하였다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 장치 내부에 공기흡입

구를 설치하여 강제적 공기흡입으로 기류를 제어하도록 하여 공기흡입량의 효과에 대한 유동계산 결과를 제시하였다. 공기흡입량을 충분하게 적용한다면 스펀코팅 타겟 표면 상부의 기류 재순환영역을 제거할 수 있으며, 따라서 공기흡입량을 조절한다면 코팅 품질을 유지하고 미소 오염입자에 의한 코팅층 오염 가능성을 줄일 수 있음을 확인하였다.

후 기

본 연구는 금오공과대학교 학술연구비에 의하여 연구된 논문이다.

참고문헌

1. Pei, Z. J., Fisher, G. R., and Liu, J., "Grinding of Silicon Wafers: A View from Historical Perspectives", *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, Vol. 48, pp. 1297-1307, 2008.
2. Sun, W., Pei, Z. J., and Fisher, G. R., "Fine Grinding of Silicon Wafers: Effects of Chuck Shape on Grinding Marks", *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, Vol. 45, pp. 673-686, 2005.
3. Kim, K., Kim, D., and Park, J. Y., "CFD Analysis on the Internal Air Flow Control in a Wax Spin Coater of Silicon Wafer Polishing Station", *Journal of the Semiconductor & Display Equipment Technology*, Vol. 10, pp. 1-6, 2011.
4. Kim, K., Kwak, H. S., and Park, K. S., "An Experimental Study on Wafer Demounting by Water Jet in a Waxless Silicon Wafer Mounting System", *Journal of the Semiconductor & Display Equipment Technology*, Vol. 8, pp. 31-35, 2009.
5. Bornside, D. E., Brown, R. A., Ackmann, P. W., Frank, J. R., Tryba, A. A., and Geyling, F. T., "The Effects of Gas Phase Convection on Mass Transfer in Spin Coating", *Journal of Applied Physics*, Vol. 73, pp. 585-600, 1993.
6. Oztekin, A., Bornside, D. E., Brown, R. A., and Seidel, P. K., "The Connection between Hydrodynamic Stability of Gas Flow in Spin Coating and Coated Film Uniformity", *Journal of Applied Physics*, Vol. 77, pp. 2297-2308, 1995.
7. Yang, Y.-K. and Chang, T.-C., "Experimental Analysis and Optimization of a Photo Resist Coating Process for Photolithography in Wafer Fabrication", *Microelectronics Journal*, Vol. 37, pp. 746-751, 2006.
8. Gupta, A. and Ranganathan, K., "Three Dimensional Turbulent Swirling Flow in a Cylinder: Experiments and Computations", *International Journal of Heat and Fluid Flow*, Vol. 28, pp. 249-261, 2007.