

화학증착 시스템에서의 파이프내 오염입자 관찰을 위한 초음파 및 진동 진단법의 비교연구

윤주영¹ · 성대진¹ · 신용현¹ · 이지훈² · 문두경² · 강상우^{1*}

¹한국표준과학연구원 진공센터, 대전 350-600

²건국대학교 신소재공학과, 서울 143-701

(2006년 5월 18일 받음)

화학증착 시스템의 파이프내 발생하는 오염입자의 진단을 위하여 초음파 및 진동진단법을 각각 비교, 연구하였다. 초음파 진단의 경우 파이프 외벽에 초음파 센서를 부착하여 필스를 가한 후 에코 분석을 통해 파이프내벽의 오염입자를 관찰하였고 진동 진단의 경우 파이프외벽에 부착된 진동발생기를 통해 파이프에 인위적인 진동을 발생시켜 여기에서 발생하는 주파수 차이를 분석, 파이프내의 오염입자 여부를 관찰하였다. 초음파 진단의 경우, 오염입자가 파이프 내벽에 부착되어있을때는 효과가 좋았으나 오염입자가 시간이 지남에 따라 건조되어 파이프 내벽에서 떨어져나와 파이프 내벽과 오염입자사이에 틈새가 생길경우 초음파 펄스는 이 공간을 통과하지 못하고 파이프 내벽에서 다시 반사되어 오염입자를 진단하지 못하는 경우가 발생하였다. 따라서 초음파 진단법으로는 진공장비의 오염입자 관찰에 재현성을 보여주지 못하는 것으로 확인되었다. 반면 진동진단법의 경우 위와 같이 일정시간이 지난 동일한 샘플의 경우에서도 오염입자에 의한 차이가 관찰되었다. 즉 파이프내 오염입자가 존재시 새파이프에 비해 진동음이 저주파대로 떨어짐이 확인되어 추후 화학증착 시스템의 파이프내 오염입자 모니터링 연구에 가장 효과적인 방법으로 기대된다.

주제어 : 화학증착, 배관, 오염입자, 초음파, 진동, 모니터링

1. 서 론

화학증착(Chemical Vapor Deposition, CVD) 시스템내 파이프내벽에서의 오염입자 침착은 심각한 문제점으로 기체유량을 감소시켜 공정중 박막 증착속도를 감소시킬 수 있다. 또한 배기관 내부에 달라붙어 있는 오염입자들은 펌프의 로터등에 문제를 야기시킬 수 있다[1].

한편 화학증착 공정이란 화학원료물질(precursor)을 기체상태로 반응기내로 전달, 기상 화학반응을 통하여 기관에 고체박막을 형성시키는 기술로 현재 반도체 공정의 핵심 박막형성 기술 중 하나이다[2]. 한편 이러한 화학원료물질로 인한 반응부산물 등이 발생하여 오염입자들이 시스템내 배관내벽에 침착되거나 아예 파이프를 막아버리는 문제점이 발생한다. 특히 근래에는 화학원료물질을 유기금속화합물을 사용하는 유기금속 화학증착 (Metal-Organic CVD) 공

정의 도입이 활발하기 때문에 반응성이 강한 이들 화학원료물질로 인해 오염입자 문제는 더욱 심각해졌다. 한편 파이프내 오염입자 침착이 증가될수록 공정효율은 떨어질 수 밖에 없다. 따라서 이러한 침착물이 계속 증가된다면 파이프를 통과하는 기체유량은 이들에 의해 방해받을 것이다.

따라서 장치를 해체하지 않고도 파이프내 침착된 오염입자 물질을 확인할 수 있는 방법이 반도체라인 등에서 요구되고 있으나 현재에 이런 방법은 거의 전무한 형편이다. 비파괴적인 진단방법으로 시스템내 오염입자 물질을 진단할 수 있는 방법이 있다면 장치를 유지, 보수하기 위하여 장비를 다운시키거나 불필요한 파이프 교체작업을 줄여 장비 유지비용을 상당량 줄일 수 있는 경제적 효과가 있을 것이다. 그러나 이러한 파이프내벽에 침착된 오염입자의 검출을 위해 gamma 또는 X-ray 분석법 등의 비파괴 방법을 사용할 수도 있으나 오염입자들이 대부분 유기성분이라

* [전자우편] swkang@kriss.re.kr

이들방법으로 검출도 쉽지않고 인체 위험성 등으로 인해 반도체 라인내에서 사용하기에는 매우 어려운 형편이다[3,4].

이러한 이유로 화학증착 시스템의 파이프내벽의 오염입자를 모니터링할 수 있는 효과적인 방법이 절실한 형편이다. 본 연구에서는 초음파(ultrasonic) 및 진동(vibration)센서 시스템을 각각 이용, 화학증착 시스템 파이프내 오염입자 진단의 가능성을 각각 비교해 본다.

II. 실험

실험에 사용된 파이프는 카본스틸 재질로 유기오염입자로 내부가 막힌 샘플을 사용하였다(내경 2inch, 두께 1mm, 길이 50 cm). 파이프 샘플은 전형적인 유기금속 화학증착 장비에서 떼어낸 샘플을 사용하였다. 유기금속 화학증착 시스템에서, 화학원료물질의 분해에 의해 유기성분의 오염입자들이 발생, 이들이 파이프내벽에서 침착하게 된다. 그림 1은 초음파 센서를 이용한 파이프내벽의 오염입자 진단방법의 개략도이다. 1개의 package로 된 transmitting/receiving sensor(diameter = 6.35mm, Technisonic Co.)가 파이프 외벽에 부착되어있다. 다음 transmitter를 통하여 펄스(5MHz)를 방출 후 펄스가 파이프 내벽에서 반사되어 돌아오면 receiver가 검출한 후 이 파형을 오실로스코프를 통하여 볼 수 가 있다.

그림 2는 진동센서를 이용한 파이프내 오염입자 진단을 위한 장치 모식도이다. 파이프 외벽에 부착되어

진동을 측정하는 센서, 파이프에 인위적인 진동을 주기적으로 발생시켜주는 진동발생기 및 센서와 연결되어 센서에서 나오는 전하를 증폭하는 전하 증폭기(charge amplifier, Brüel & Kjær, Type 2635), 전하 증폭기로부터 신호를 받는 신호분석기(dynamic signal analyzer, H.P. 35670A)등으로 구성된다. 파이프는 길이 50cm, 내경 2 inch의 끝은 파이프로서 파이프의 고유 주파수의 방식은 1st (fundamental) mode 로 판단된다. 특별한 boundary condition을 주기위해 파이프 양단에 string을 이용하여 파이프의 free end를 지지하였으며 정확히 파이프 가운데를 때려 진동하게 하였다(충격량 : 2.8 kg·m/s).

III. 결과 및 고찰

초음파의 장점은 널리 잘 알려져있다. 이들은 장거리를 이동할 수 있고 유체는 물론 절연체, 금속 등의 다양한 고체재질내로도 진행이 가능하다[5, 6]. 비록 석유나 천연가스 산업 등에서 초음파를 이용한 파이프 검진의 여러 연구가 진행되었으나[7] 반도체 분야에서의 응용은 거의 전무한 형편이다. 또한 석유와 천연가스 산업 등에서는 주로 부식 등에 의한 파이프 손상 등의 관찰에 관심이 있는 반면 본 연구에서는 파이프내벽의 오염입자 침착의 진단에 관심을 갖는다. 이러한 파이프내벽 오염입자 진단기술은 화학증착 장비의 도입/배기 파이프 모두에 적용이 가능할 것으로 판단된다.

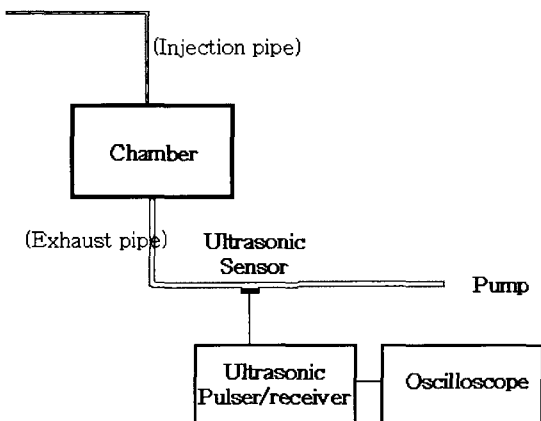


그림 1. 초음파 센서를 이용한 파이프내 오염입자 진단 방법 모식도

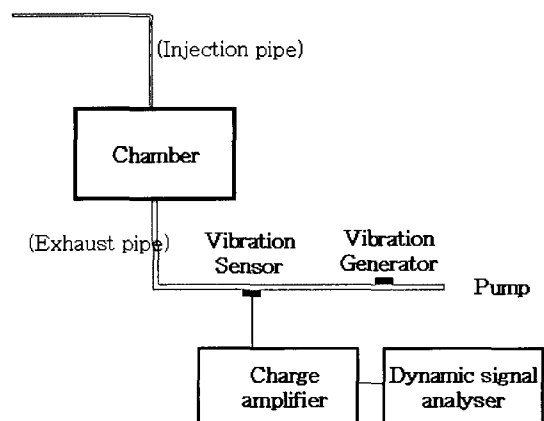


그림 2. 진동 센서를 이용한 파이프내 오염입자 진단 방법 모식도

그림 3은 송/수신 기능이 함께 내장된 초음파 센서 시스템을 이용, 초음파를 가한 후 파이프 샘플로부터 반사된 진폭 파형을 나타낸 것으로 본 실험에서는 오염입자로 내부가 막힌 파이프를 새파이프의 초음파 반사 파형과 비교하였다. 그림 3 (a), (b)는 파이프내 벽에 침착된 오염입자가 반사파의 진폭에 영향을 주고 있음을 확실히 보여주고 있다. 오염이 되지않은 새파이프(a)의 경우 초음파 발진후 내벽에서의 강한 반사파를 얻을 수 있었으나 오염된 파이프(b)의 경우 상대적으로 거의 반사파를 검출하기 어려웠다. 즉 파이프내벽/오염입자 표면이 반사파형을 변화시켰음을 확인할 수 있었으며 이를 통하여 초음파를 이용한 파이프내벽의 오염상태 진단의 가능성을 타진할 수 있었다.

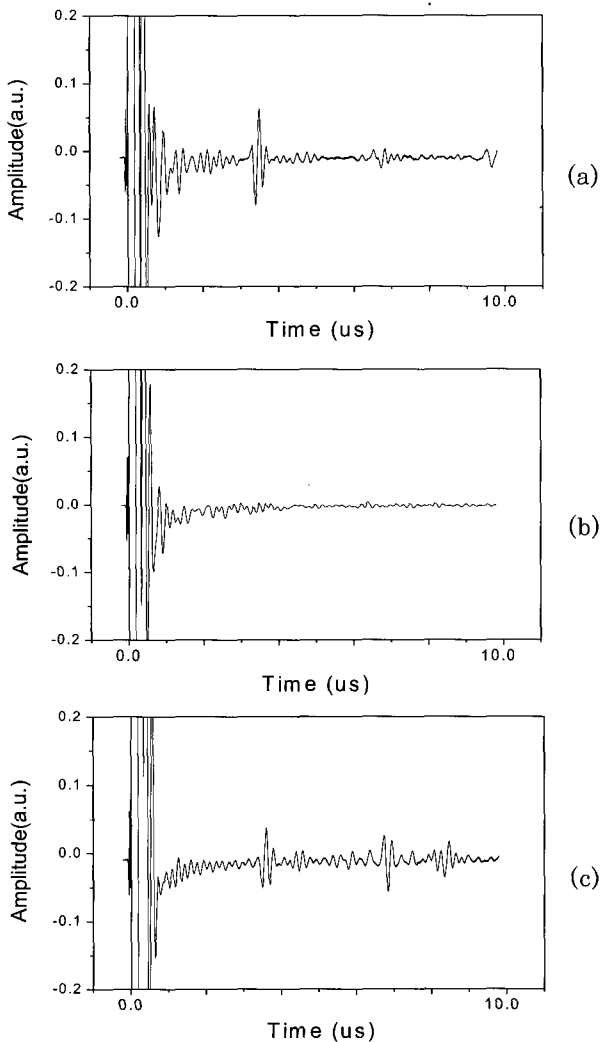


그림 3. 파이프 샘플로부터의 초음파 반사 파형 (a) 새파이프, (b) 오염된 파이프, (c) 오염된 파이프 (2주경과)

그러나 내벽에 접촉되어있는 오염입자가 일정시간 후 건조되어 내벽으로부터 떨어져나와 오염입자와 내벽 사이에 미세한 틈새가 벌어질 경우 진단이 어려운 문제점이 발생하였다. 즉 그림 3(b)의 샘플을 2주간 진공, 상온 중에서 방치후 같은 실험을 반복하였을 때 그림 3 (b)와는 달리 새파이프와 큰 차이가 없는 스펙트럼이 관찰되었다(그림 3(c)). 즉 내벽에 붙어있던 오염입자가 일정기간 지나면 건조해져 파이프 내벽에서 떨어져 나와 내벽과 오염입자 사이에 미세한 틈새가 발생하는 것을 확인할 수 있었다. 따라서 이러한 이유로 초음파를 파이프 외벽에서 발진하더라도 초음파 에너지가 오염입자로 흡수되지 못하고 내벽에서 반사되어, 결과적으로는 새파이프 샘플과 큰 차이를 보이지 못했다. 이러한 이유는 초음파가 공기 또는 진공 중에서는 거의 진행을 하지 못하는 물리적 성질을 갖고있어 미세한 파이프내벽과 오염입자 사이의 미세한 틈새를 진행을 못하고 파이프 내벽에서 반사되어 버리는 것으로 판단된다. 결과적으로 화학증착 시스템에서의 파이프 진단을 초음파방법으로 할 경우 시간이 지남에 따라 재현성에 문제점이 있음을 확인하였다.

그림 4는 파이프내 초음파 발진시의 메카니즘을 나타낸 모식도이다. 파이프 내벽표면이 오염입자 등으로 덮혀있을때 많은양의 에너지가 오염입자층에 흡수되어 반사되어 나가는 초음파 에너지가 줄어들게 된다. 이러한 현상은 파이프 에코에 영향을 주어 반사파의 진폭이 감소하게 만들게 된다(그림 4 (a), (b)). 그러나 샘플이 일정 시간경과 후 파이프내벽과 오염입자 사이에 미세한 틈이 벌어져 (그림 4(c)), 초음파 펄스가 오염입자로 진행이 힘들어, 이곳에 흡수되지 못하고 파이프내벽에서 대부분 반사되어 돌아온다. 따라서 새파이프(a)와 거의 유사한 메카니즘을 보여주게 되어 구별이 어렵게 된다. 따라서 초음파 측정법으로 파이프 오염진단시, 오염입자가 파이프내벽에 단단히 고착되어 있을 경우는 진단이 가능하지만, 일정시간이 흘러 오염입자들이 벽면에서 떨어져 파이프 내벽/오염입자 사이에 미세한 틈이 생길경우, 오염입자 유무 관찰이 매우 어렵게 된다. 즉 초음파 진단을 이용한 파이프내 오염입자 진단법은 재현성을 확보하기가 어려울것으로 생각된다.

그림 3에서 사용한 두 샘플(새파이프 및 2주 경과 오염입자 파이프 샘플)을 진동센서(vibration sensor) 시스템을 이용하여 비교해 보았다. 진동센서를 파이프

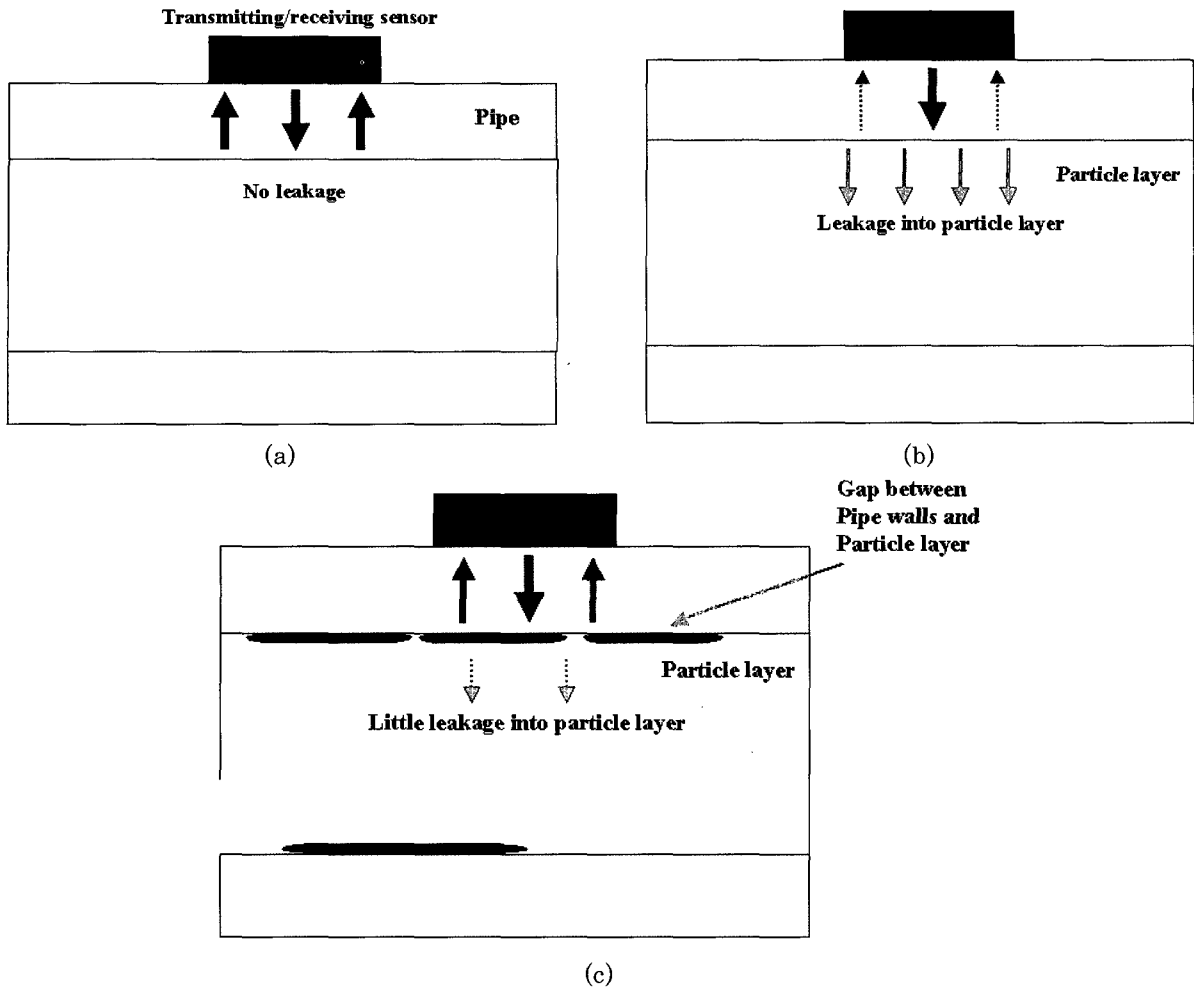


그림 4. 파이프내 초음파진단 메카니즘 모식도 (a) 새파이프, (b) 오염된 파이프, (c) 오염된 파이프 (2주경과)

프 외벽에 부착하여 진동발생기를 사용, 일정 충격을 파이프에 발생시키면 고유의 진동수가 파이프에 발생하게 된다. 진동발생기를 파이프에 부착하는 이유는, 일반적으로 파이프내 유체의 흐름에 따라서도 미세한 진동의 차이가 있다고 알려져있으나 화학증착 장비같은 진공장비는 펌프등에 의한 외적인 진동이 크기 때문에 인위적인 큰 진동을 파이프에 발생하기 위하여 부착하였다[8]. 진동센서가 고유진동을 전하로 검출 후 이를 전하증폭기에서 증폭, 전하에 비례하는 전압 신호로 변환시킨 후 신호분석기를 이용하여 파이프의 주파수를 관찰하였다. 파형의 그래프로 도시된 바와 같이, X축은 주파수를 Hz 단위로 나타내고, Y축은 강도를 나타낸다.

그림 5(a)는 오염되지 않은 깨끗한 파이프를 측정 한 것이고 그림 5(b)는 그림 3(c)에서 측정 한 샘플 (2주 경과 오염 파이프)을 측정 한 그림이다. 도시된 바

와같이 깨끗한 파이프 그래프(그림 5(a))의 경우 고유의 주파수가 8.4 Hz에서 관찰되었으나 오염되어 막힌 파이프인 그림 5 (b) 그래프의 경우 주파수가 5.7 Hz로 감소하였음을 확인할 수 있었다. 한편 실험 순서상 동시에 초음파진단법과 진동진단법을 실험한 것이 아니라 파이프 샘플의 초음파진단을 먼저 시행하였고 같은 샘플을 2주 경과후 재측정하였을때 초음파로 측정이 불가능한 문제가 발견되었다. 따라서 이러한 문제를 극복하고자 진동진단 시스템을 이용하여 후속실험을 한것이기에때문에 그림 3 (b)에 해당하는 초기 오염파이프 실험은 진동진단 실험에서는 신지를 못하여서 추후 확인작업 예정이다.

즉 오염되지 않은 파이프에 진동발생기를 통해 적당한 충격을 가해주면 고레벨의 진동음이 발생하지만 파이프 내부가 오염입자가 생겼을때 진동음의 레벨이 저하하게 됨을 확인할 수 있었다. 따라서 이와 같은

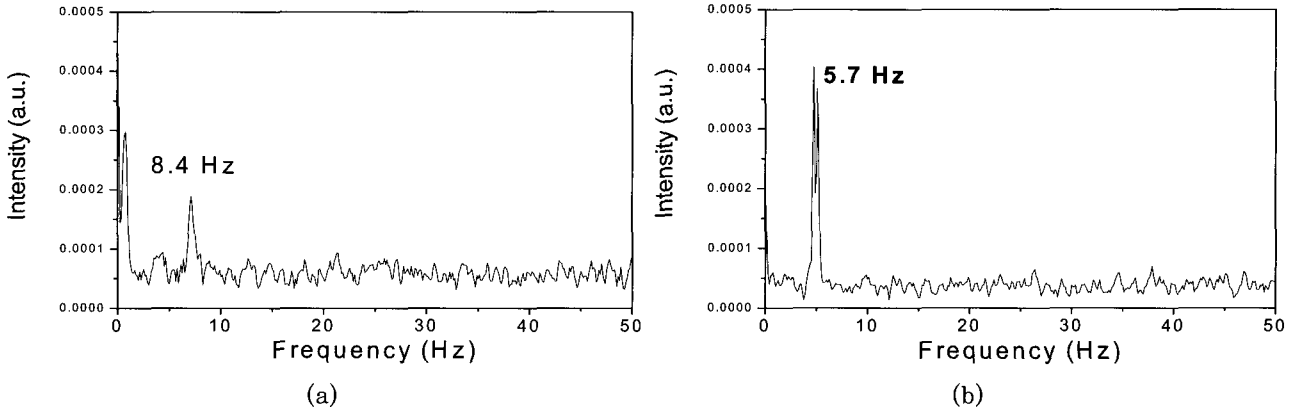


그림 5. 파이프 샘플로부터의 진동 주파수 파형 (a) 새 파이프, (b) 오염된 파이프 (2주경과)

방법으로 화학증착 시스템의 파이프 내벽상태를 모니터링, 진동음에 대응한 주파수대의 신호를 추출할 경우 파이프 내 오염입자로 인한 막힘 현상을 모니터링할 수 있음을 확인하였다. 진동 진단법은 특히, 초음파와는 달리 파이프 내벽과 오염입자 사이의 틈새 유무와 상관없이 오염입자를 진단할 수 있어 재현성에서 매우 효과적인 방법으로 판단된다.

IV. 결론

화학증착 시스템에서의 오염입자로 인한 파이프 막힘 현상을 진단하기 위하여 초음파 및 진동센서 시스템을 이용하여 각각 실험을 하였다. 먼저 초음파를 이용, 파이프 진단을 하였을 경우 오염입자가 발생한 직후에는 초음파가 내벽에 부착된 오염입자에 흡수되어, 피크의 진폭이 감소하는 경향을 보였으나 샘플을 2주간 진공상태에서 유지후 재측정을 하였을 경우 이와 같은 진단법으로는 오염입자를 거의 인식하지 못하였다. 이와 같은 현상은 시간이 경과함에 따라 내벽에 달라붙어있던 오염입자들이 건조한 상태가 되어 내벽으로부터 떨어져나오면서 초음파가 이들 오염입자에 흡수되지 못하고 내벽에서 반사되어, 결국 새 파이프 샘플과 차이점을 보여주지 못하는 문제점을 발견하였다. 반면 진동 진단 시스템을 사용할 경우, 오염입자 여부에 따른 큰 차이점을 발견할 수 있었다. 즉 오염되지 않은 새 파이프에 진동발생기를 통해 적당한 충격을 가해주면 고레벨의 진동음이 발생하지만 파이프 내부가 오염입자가 생겼을때 진동음의 레벨이 저하하게 됨을 확인할 수 있었다. 따라서 이와 같은 방법으로 오염입자의 파이프내벽 부착 유무에 관련없이 파이프의 내부상태를 진단가능한 재현성을 확보하

였다. 즉 본 연구에서는 화학증착 시스템의 파이프에 오염입자로 인한 오염상태를 모니터링할 수 있는 가능성을 제시하여 추후 계속된 연구에 의해 반도체 생산라인에서의 유효한 모니터링 방법으로 개발될 수 있을 것으로 기대된다.

참고 문헌

- [1] G. Eom, C. Park, Y. Shin, K. Chung, S. Park, and W. Choe, J. Han, Appl. Phys. Lett. 83, 1261 (2003).
- [2] J. Y. Yun, M. Y. Park, and S. W. Rhee, J. Electrochem. Soc. 145, 1804 (1999).
- [3] K. Kamali Moghadam and M. M. Nasser, Appl. Rad. Iso. 61, 461 (2004).
- [4] A. Intemann, H. Koerner, and F. Koch, J. Electrochem. Soc. 140, 3215 (1993).
- [5] Robert E. Green Jr., Ultrasonics 42, 9 (2004).
- [6] Jordi Salazar, Antoni Turo, Juan A. Chavez, and Migel J. Garcia, Ultrasonics 42, 155 (2004).
- [7] T. R. Hay and J. L. Rose, Food Cont. 14, 481 (2003).
- [8] Y. Itakura, N. Fujii, and T. Sawada, Phys. Chem. Earth(B) 25, 71 (2000).

Comparison of Ultrasonic and Vibration Diagnostic Techniques for the Inspection of Pipes in CVD System

Ju-Young Yun¹, Dae-Jin Seong¹, Yong-Hyoen Shin¹,
Ji-Hun Lee², Doo-Kyung Moon², and Sang-Woo Kang^{1,*}

¹*Vacuum Center, Korea Research Institute of Standards and Science, Daejeon, 305-600*

²*Dept. of Materials Chemistry & Engineering, Konkuk University, Seoul, 143-701*

(Received May 18, 2006)

In examining particulate deposits in the pipes of a chemical vapor deposition (CVD) system, vibration diagnostics is compared and studied against ultrasonic diagnostics. The latter method involves pulsing the outer wall of pipes with an ultrasonic sensor and analyzing the resulting echo to observe particulate deposits inside pipes. Vibration diagnostics examines the existence of particulate deposits by analyzing the difference in the frequencies generated when a vibrator is adhered to the outer wall of pipes. With ultrasonic diagnostics, good test results were obtained only when particulate deposits were attached to the inner wall of the pipes. After some time, however, particulate deposits were not detected properly, as the ultrasonic wave failed to cross the fine gaps created between the inner wall of the pipe and the deposits. The ultrasonic wave bounced back because of the dried particulate deposits on the wall. Thus, it has been proven that the ultrasonic diagnostics is not an appropriate means of examining the particulate deposits in a vacuum. On the other hand, vibration diagnostics succeeded in detecting the particulate deposits regardless of the lapsed time.

In conclusion, the vibration diagnostics is being expected as the effective method in monitoring the particulate deposits inside pipes in the CVD system where the desired behavior is reduced frequency along with the particulate deposits in comparison to the case where the pipe is clean.

Keywords : CVD, Pipe, Particle, Ultrasonic, Vibration, Monitorin

* [E-mail] swkang@kriss.re.kr