

반도체/디스플레이 소자용 초음파 표면세정기술

이강원*, 윤의중**, 김철호*, 이석태*, 김윤수***

*한국생산기술연구원, **호서대학교, ***아시아초음파

Abstract

In this paper, the transducer instead of mechanical dynamic structure was used to generate ultrasonic wave and the horn-shape amplifier was utilized to solve the energy decaying problem of ultrasonic wave with propagating it through the media. The analyses of ultrasonic wave and a fluid for the selected structure of a cleaning head were carried out. Based on simulator results, the distance between a horn and the substrate of 4 mm and the horn diameter of 10 mm were determined to maximize the energy of ultrasonic waves. The cooling structure was also considered to reduce the heat from the transducer and the horn.

1. 서론

최근의 건식 세정기술은 친환경 장비개발을 목표로 기술개발이 진행되고 있다. 반도체와 디스플레이 소자기판 등의 일반적인 초음파 습식 세정방법으로는 파동이 전파해 가면서 세정액이 고주파 진동을 하여 발생하는 캐비테이션(cavitation) 현상과 진동가속도 등을 활용한다[1~3]. 초음파 습식세정 기술은 그 기반기술이 안정화되어 최근의 MEMS 미세 공정 등의 멤브레인 제작에도 연구되고 있다[4]. 향후의 반도체 및 디스플레이 소자 제조공정에서는 안전 및 친환경적인 설계가 더욱 중요하게 다루어져야 한다. 본 연구에서는 초음파 발진자로부터 발생하는 진동가속도를 매질(기체)을 통하여 기판 위로 분사하는 친환경성 건식 초음파 세정기술을 구현한다.

변환자에서 초음파가 발생하여 매질에 진폭이 전파될 때 변위 y 는 아래의 1 식과 같이 진폭 A 와 정현 함수의 곱으로 나타낼 수 있다.

$$y = ASIN\omega T \quad \text{-----}(1)$$

또, 입자의 속도는 매질입자 변위의 시간에 대한 미분 값이며, 입자 가속도는 주파수의 제곱과 비례한다.

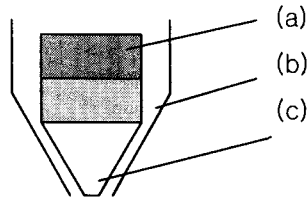


그림 1. 초음파 발생구조

발진자에서 방사되어 매질(공기)을 통과하는 초음파 파워는 급격히 감소하게되며 이를 보완하기 위하여 진동 진폭을 크게 하는 구조를 필요로 한다. 이를 위하여 그림 1 의 발진자의 끝 부분에 증폭기 혼 구조를 설계하였다. 그림 1 에서의 (a), (c)는 각각 발진자와 증폭기 혼의 구조를 나타내며 (b)는 세정용 공기(clean air)의 통로(노즐)가 된다.

2. 시뮬레이션 및 실험

증폭기 혼을 사용하면 세정목표물(기판)과의 거리에 따라 세정력이 달라지며 이는 혼의 끝단에서 발진하는 진동에 의하여 형성되는 음장이 그 거리에 따라 달라지기 때문이다. 수치 해석을 통하여 증폭 혼의 끝단과 세정목표물과의 거리에 따른 음장 형성 변화를 계산하였다.

기판 위의 미세한 파티클을 물리적으로 세정하는 과정에서 대두될 수 있는 중요 요소로는 사용 주파수, 초음파 감쇄에 대한 보상방법, 초음파와 함께 부가되는 친환경적 기체(Clean air 또는 N_2 gas 등)의 물리력, 그리고 부품의 냉각방법 등을 들 수 있다. 이러한 요소들에 대한 3 차원 수치해석을 통하여 세정을 위한 최적 구조를 도출한 결과 초음파를 발생하는 경계면으로부터 기판 사이의 거리가 4mm 일때 파워가 가장 효율적으로 작용한다는 것을 알 수 있었다. 그림 2는 초음파 파워를 이용하는 세정 및 냉각 구조의 시뮬레이션이다.

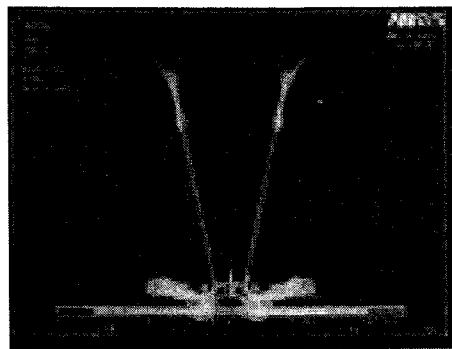


그림 2. 초음파 혼의 냉각구조.

초음파가 방사되는 동안 변환자와 증폭기 혼에는 고열이 발생할 수 있는데 이때 발생하는 고열에 의하여 발진자의 특성이 변하며 문제를 야기할 수 있다. 그림 5 의 구조에서는 변환자와

증폭기 혼 주위를 감싸면서 흐르는 기류(air)가 유체분사 출구(outlet)를 통과하면서 빠르게 토출된다. 이때 발생하는 빠른 속도의 기류가 변환자와 증폭기 혼에서 발생하는 열에 대한 냉각 효과를 갖는다. 그림 3 은 시뮬레이션 설계에 기초하여 초음파 세정 실험을 위한 장치를 제작한 것이다. 세정장치는 디스플레이 기판을 올려 놓는 베이스 부 위에 세정 헤드가 상하 좌우로 이동할 수 있는 구조이다. 초음파 헤드와 기판 간의 수직 거리의 최적 값은 Laser Vibrometer 시스템을 이용한다. 세정장치 증폭 혼의 끝 단면에 1 개 이상의 은박지를 길이방향으로 배치하고 초음파를 발생시키면 혼 끝단면의 출력을 fp 이저 센서 시스템(OFV 352 Sensor Head)이 받는다. 레이저 센서를 위해 사용되는 Controller 는 OFV 2600 이다. 측정결과 3.4~4.3 mm 거리에서 최대 값을 발생시켰다.

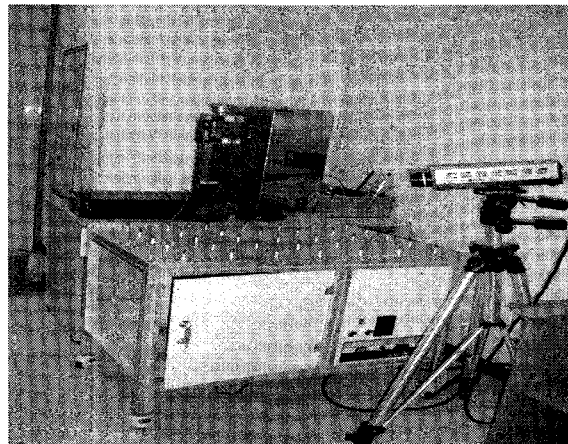


그림 3. 초음파 세정 실험장치(사진).

3. 결과 및 검토

초음파에 의한 세정실험 결과를 그림 4 에서 나타낸다. 그림 4 의 (a)는 초기 표준 세정에 의해 깨끗하게 준비되어 있는 기판 4 “ 기판 상에 약간의 알루미나 분말(Al_2O_3)로 오염시킨 것의 표면으로 세정 작업이 이루어지지 않았을 때를 SEM(Scanning electron microscopic)으로 측정하여 나타낸 것이다.

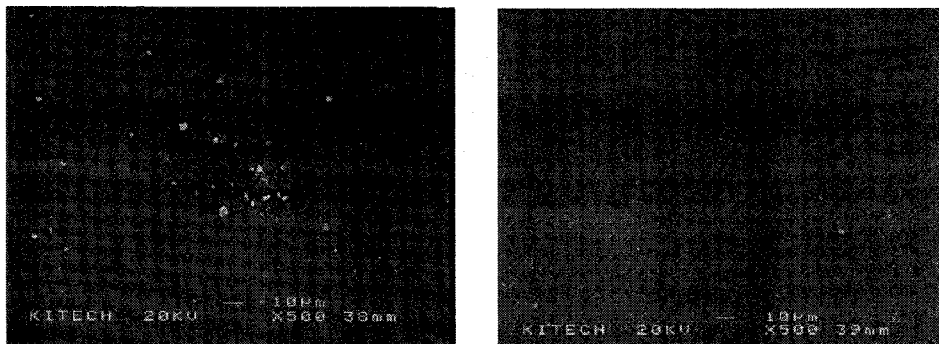


그림 4. 세정전 오염된 상태(a)와 세정 후(b)의 SEM 사진

초음파 세정장치를 이용하여 오염된 기판에 대한 세정실험을 실시하여 마이크론 단위의 미세 오염물질에 대한 세정효과를 확인할 수 있었다. 그림 4 의 (b)는 오염물질이 존재하는 기판 위에 20kHz 의 세정 주파수로 초음파 세정을 실시한 후의 표면 상태를 나타낸다.

4. 결 론

본 연구에서는 새로운 세정 방법을 찾고자 노력하였으며, 시뮬레이션을 통하여 이론을 정립하고 시뮬레이션을 통하여 도출된 구조를 설계, 제작하여 세정 실험을 실시하였다. 초음파 세정장치를 이용하여 오염된 기판에 대한 20 kHz 에 의한 초음파 세정실험을 실시하여 마이크론 단위의 미세 오염물질에 대한 세정효과를 확인할 수 있었다.

기판과 대향하고 있는 세정헤드 간의 거리는 레이저 센서 시스템을 활용하여 최적화 할 수 있으며, 시스템이 요구하는 최적의 거리는 Particle 제거에 필요한 충격 에너지양, 등 기판 위에 형성되어 있는 Particle 제거 조건에 따라 달라질 수 있다. 따라서 이 기술을 현장에 적용하기 위한 우선 조건으로서는 적용하고자 하는 특정의 공정조건에 대하여, 적용대상 공정의 엔지니어와의 협의 및 연구가 필요하다.

향후 연구진행의 과제는 디바이스 Rule 의 대형화, 미세화 진행에 대응한 세정 공정기술과의 연계를 통하여 상용화 제품 기술을 개발하는데 있다.

감사의 글

본 연구는 생산기술연구사업의 지원에 의한 것입니다.

참고 문헌

- [1] Hall, R. M., Jarvis, T.D., Parry, T., Li, L. and Hawthorne, R. C., "Investigating Particle, Metallic Deposition in Megasonic Wafer Cleaning", Micro July/August, pp.80-90 (1996).
- [2] Qi, Q. and Brereton, G. J., "Mechanisms of Removal of Micron-Sized Particles by High-Frequency Ultrasonic Waves", IEEE Transactions on Ultrasonics, Ferroelectrics, and Frequency Control, Vol.42, pp.619-629(1995)
- [3] Mayer, A. and Schwartzman, S., "Megasonic Cleaning: A New Cleaning and Drying System for Use in Semiconductor Processing", Journal of Electric Materials, Vol.8, No.6, pp.855-864 (1979)
- [4] Mikko O. Laminen, Harold W. Walker, Linda K. Weavers, "Mechanisms and factors influencing the ultrasonic cleaning of particle-fouled ceramic membranes", Journal of Membrane Science 237, pp 213-223 (2004)