

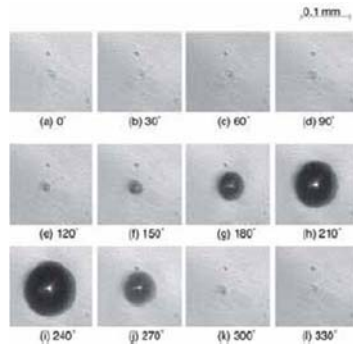
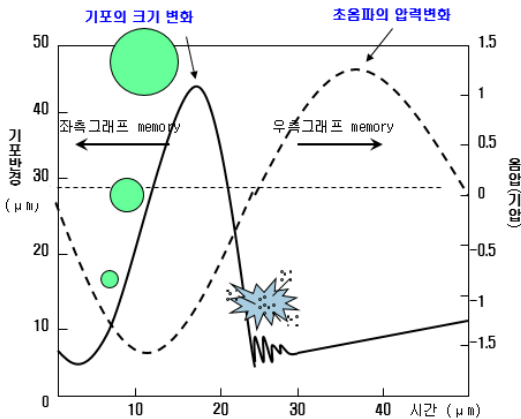
초음파 케비테이션에 관하여

물이나 세정액내에는 케비테이션을 발생시킬수 있는 용존가스가 존재한다. 이러한 용존가스는 물표면과 공기사이에서 녹아들어가기도 하고 방출되기도 한다. 이러한 이유로 수도물의 용존산소가 습한 여름에는 7ppm 정도이며 겨울에는 4ppm 정도로 차이를 보인다. 초음파가 조사되면 수축팽창(cavitation 효과)에 의해 확산되어있는 용존가스가 성장하여 기포가 되고 수축팽창을 반복하며 기포내는 진공에 가까운 압력을 가진다. 물이 높은 용존가스를 가지게 되면 진공압이 약한상태에서 오염물에 약한 힘을 주게 되어 초음파가 약하게 나타난다. 반대로 낮은 농도의 용존가스는 큰 진공압에 의해 강한 초음파가 발생한다. 또한 음향 케비테이션 기포는 물에 녹아있는 용존가스, 수조내 벽면이나 구조물의 틈새, 큰기포가 분열하여 발생한 작은 기포들에 의해서 계속적으로 공급된다.

또한 케비테이션현상이 반복되게 되면 기포발생후 물표면으로의 소멸이 촉진되어 용존가스가 줄어들게 되고 초음파의 강도는 상승하게 된다. 인위적으로 물속의 기포를 탈기시켜 초음파의 강도를 높일수 있으며 탈기와 케비테이션 소스를 공급해주는 장치를 이용할수 있다. 공진기포(resonance Bubble)은 주파수와 매칭이 되는 크기의 기포를 말한다. 공진기포의 붕괴는 수축/팽창을 반복하다가 수축시에 일어난다. 30kHz 의 공진기포의 직경은 0.2mm 이며 수식은 다음과 같다. [$Fr * Rr=3$ -- $Fr(\text{Hz}):$ 주파수, $Rr(\text{m}):$ 공진반경]

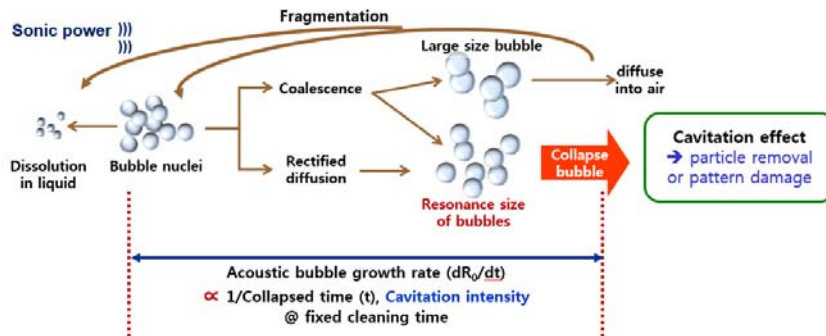


<cavity 발생장치 : SONOCAVI>



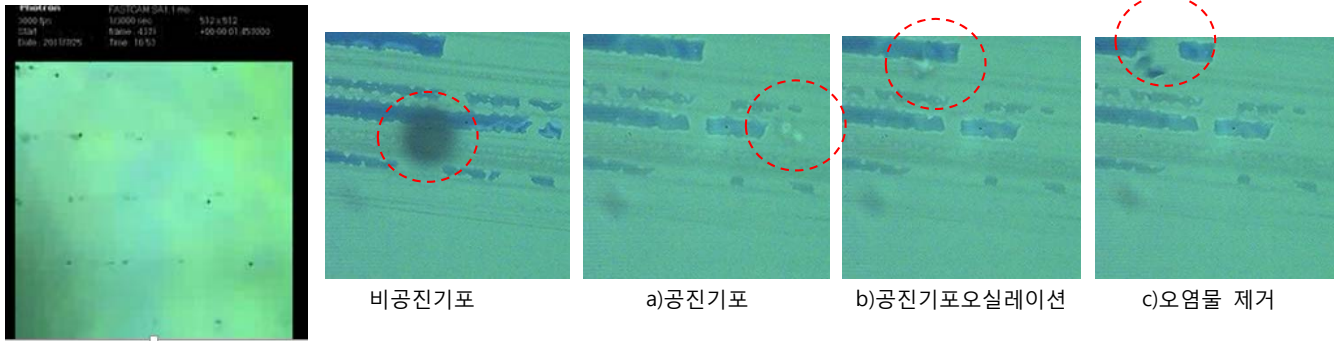
공진기포의 성장과 케비테이션효과와의 관계

확산되어 있는 용존가스는 초음파에 의해 수축/팽창을 통해 성장하는 공진기포와 기포간의 충돌에 의해 뭉쳐진 비공진기포로 나누어 진다. 비공진기포는 초음파 영향을 받지 않고 부상하여 공기중으로 사라지고 공진기포는 오실레이션을 하며 오염물에 충돌하여 오염물을 제거하는 역할을 한다.



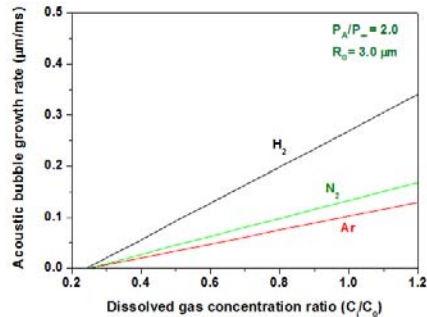
고속카메라를 통한 공진기포의 관찰

고속카메라를 통해 수조내의 기포움직임을 관찰하였을 때 반파장 간격으로 기포군이 형성되는 것을 확인할 수 있다. 비공진 기포는 오염물을 영향을 주지 않는 거동을 보였고 공진기포는 오실레이션하며 오염입자에 충돌하여 오염입자를 제거하였다.



첨가가스의 효과

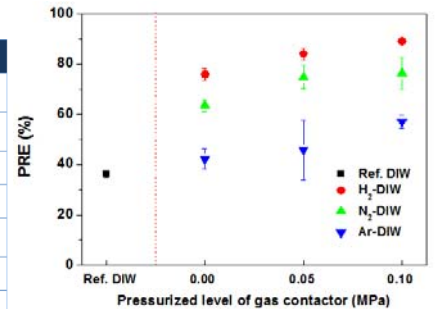
반도체공정에 사용하는 순수나 초순수의 경우에는 용존가스가 상당히 적다. 이러한 경우에는 케비테이션의 소스가 되는 첨가가스를 넣어 초음파의 강도를 올릴 수 있다. 다양한 첨가가스를 넣어 오염입자의 제거력을 확인하였을 때 수소수(H₂)를 첨가하였을 때 bubble의 성장속도가 빠르고 제거력(PRE)이 우수하였다



(첨가 가스 종류 및 용존 가스 농도에 따른 acoustic bubble growth rate 결과)

Physical properties	H ₂	N ₂	Ar
• Molecular weight (g/mol)	2.0	28	40
• Diffusivity (10 ⁻⁵ cm ² s ⁻¹)	7	2.8	2.7
• Density (kg/m ³)	0.085	1.18	1.67
• Sound velocity (m/sec)	1304	352	321
• Thermal conductivity (mW/m·K) @ 300 K	186.9	26	17.9
• Dissolved Concentration (ppm)	1.58	18.4	55.8
• Ratio of specific heat capacity (Cp/Cv)	1.384	1.403	1.664
• Heat capacity at constant pressure (Cp / J/mol·K)	29.9	29.2	20.8

(가스 종류에 따른 물리적 특성)



(첨가 가스 종류 및 농도에 의한 Si₃N₄ 오염입자 제거효율 평가 결과)

초음파 세정기 고려사항

케비테이션강도는 사용주파수, 설정출력, 세정액온도등에 따라 변한다. 낮은 온도일 때 공진기포의 표면장력 상승으로 초음파 강도가 높아지나 온도를 부가하였을 때 오염물의 부착력을 낮출 수 있어 적절한 온도를 찾아야 한다. 그리고 오염물제거와 동시에 세정대상물의 표면손상에 대한 고려가 필요하여 물리세정인 초음파 사용시간과 세제를 적절히 사용할 필요가 있다. 또한 오염물 재부착방지를 위해 액관리가 가능한 세정기 구조설계가 필요하다.