

# 반도체 노광공정에 이용되는 엑시머 레이저의 기술 현황 및 시장 동향

2002년 초에 Dataquest에 의해 발표된 시장전망에 의하면, 2003년 이후 3~4년간 엑시머 레이저를 이용한 DUV 노광장비 시장은 큰 폭으로 확대될 것으로 전망하고 있으며, DRAM 수요의 증가와 12인치(300mm) 공정의 가속화가 그 예상을 뒷받침 하고 있다. 특히, KrF엑시머 레이저 공정 이후에 도입될 ArF엑시머 레이저 시장의 확대가 주목된다.

## 글/싸이머코리아 이형권 과장

고집적 반도체 생산을 가능케 하는 엑시머 레이저(Excimer Laser)가 개발되어 생산에 적용되기 전에는 30년 이상 수은 방전램프(Mercury Arc Lamp)가 사용되어 왔고, 현재까지도 반도체 노광공정 중 일부를 수은 방전램프에서 방사되는 i-line(365nm)를 이용한 공정으로 진행하고 있다.

그러나 수은 방전램프는 차세대 반도체 소자(128M, 256M, 512M) 제조에 있어 250nm이하의 임계선폭(Critical Dimension) 가공에는 광원의 특성상 공정이용이 불가능하기 때문에 90년 이후, KrF 엑시머 레이저(파장248nm)를 이용한 노광 기술이 그 대안으로 제시되었다. 수은방전램프에서 방사되는 g-line 및 i-line은 스펙트럼 반치폭(Spectrum Bandwidth)이 레이저에 비해 매우 크기 때문에 DoF (Depth of Focus) 및 해상도(Resolution)의 개선이 어렵고, 광 에너지의 효율적 이용이 어려워 생산성 향상에 한계를 갖게 한다.

국내 DRAM생산 업체의 경우, 엑시머 레이저를 이용한 반도체 생산의 시작은 1996년 이후부터 본격화되기 시작했다. 미국 싸이머社(Cymer Inc.)에서 1986년부터 개발하기 시작

한 반도체 노광공정용 KrF 엑시머 레이저(파장 248nm)는 10여년의 개발 기간을 거쳐 DUV(Deep Ultraviolet) 스테퍼(Stepper)와 함께 250nm이하의 공정이 요구되는 64M DRAM에서 사용되기 시작했다. 이후, 광학적 성능개선이 이루어져 4KHz로 동작하는 스펙트럼 반치폭 0.5pm이하, 평균 출력 30W급 KrF 레이저가 출시되었으며, 앞으로128M DRAM및 256MDRAM의 집적화 공정으로의 이용 및 300mm 웨이퍼 생산에 적용될 전망이다.

엑시머 레이저는 그 특성상 고 반복률(High Repetition Rate)을 얻기가 상당히 어려운 특성이 있다. 그러나 반도체 생산 현장에서는 생산성 향상을 위해 평균 출력이 높은 레이저를 요구하고 있으며, 고반복률에서도 출력 안정도 및 스펙트럼 반치폭이 작은 광학적 사양을 요구한다. 현재 사용되는 엑시머 레이저는 248nm의 출력 파장을 갖고 있는 KrF엑시머 레이저이나, 향후 1~2년 내에는 출력파장이 193nm인 ArF엑시머 레이저를 이용한 공정이 본격화 될 전망이다. ArF엑시머 레이저는 KrF엑시머 레이저에 비해 파장이 약 22%정도 작아지기 때문에 130nm이하의 임계선폭 가공에 이용될 수 있으며,

Methods :	Process factor, K1	I-line(365nm) NA=0.65	KrF(248nm) NA=0.80	ArF(193nm) NA=0.85	F2(157nm) NA=0.90
Conventional Litho+ Simple OPC	0.50	280nm	155nm	115nm	90nm
Off Axis Illumination+ Rule Based OPC	0.40	220nm	125nm	90nm	70nm
Att-PSM/Strong OAI+ Model Based OPC&AF	0.35	220nm	110nm	80nm	60nm
Alt-PSM or Dipole+ Double Exposure	0.30	220nm	95nm	70nm	60nm
No image "Brick Wall"	0.25	140nm	80nm	55nm	45nm

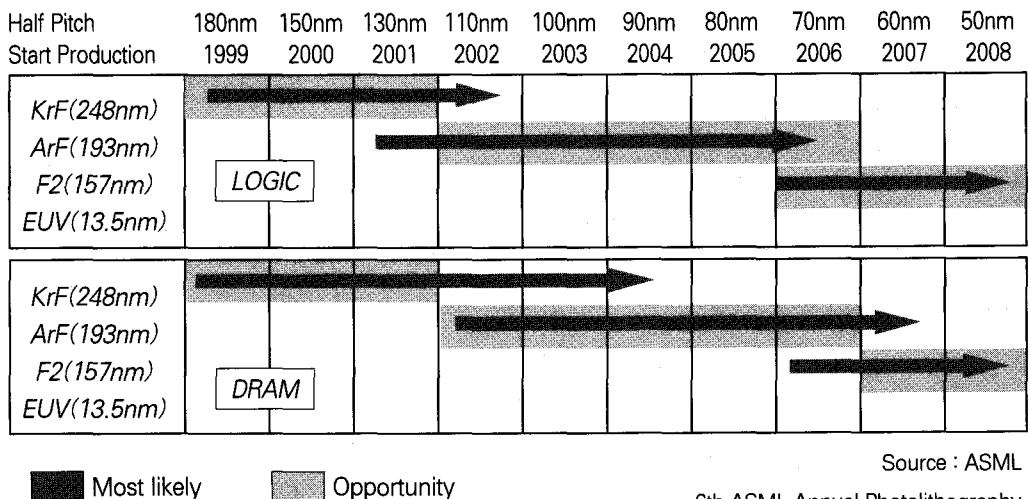
Evolution of Optical Lithography reaches a brick wall at ~50nm  
 For ≤ 50nm a revolution is required = Next generation Lithography

〈Fig. 1〉 Limit of Optical Lithography

PSM(Phase shift Mask), OAI(Off-Axis Illumination)와 같은 RET(Resolution Enhancement Technology)를 이용하여, 70nm전후의 공정까지 확대 적용할 수 있을 것으로 기대한다.

엑시머 레이저를 이용하여 가능한 임계선폭은

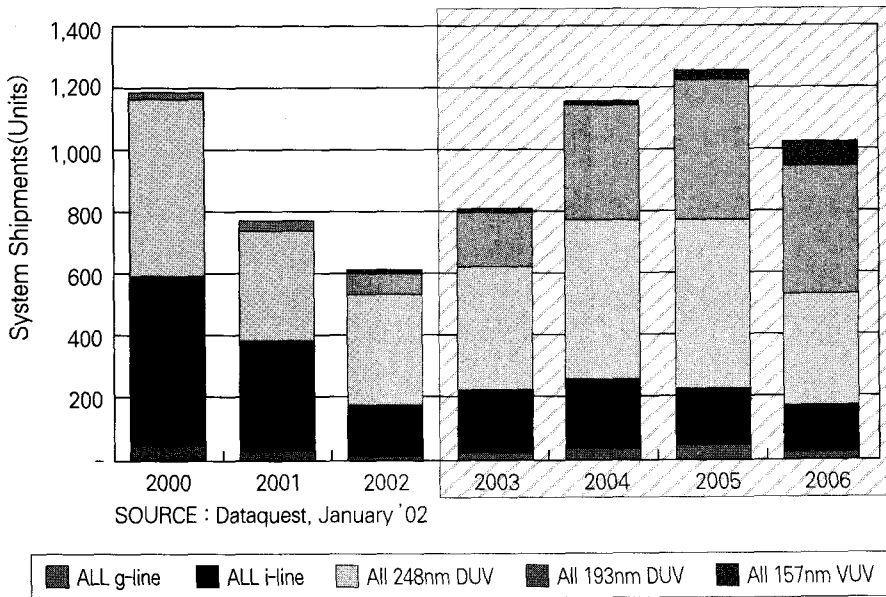
이론적으로 보면 약 50nm가 그 한계가 될 것으로 본다. 따라서 ArF엑시머 레이저를 이용한 공정이 70nm전후에서 그 한계가 지어진다며, 이후 157nm의 발전 파장을 갖는 F2레이저가 사용될 수 있을 것이다. 싸이머社は 2003년 중반에 양산용 F2레이저를 출시할 계획을 갖고 있으



Source : ASML

6th ASML Annual Photolithography  
 Technical Symposium, 2002

〈Fig. 2〉 Expected Wavelength Transitions



〈Fig.3〉 Addressing The Demand for DUV Lithography

며, 본격적인 생산라인에서의 도입은 2006년 이후에나 가능할 것으로 예상되고 있다.

임계선폭 50nm이후의 공정은 많은 연구자들의 예상에 의하며, 엑시머 레이저를 이용한 공정은 불가능할 것으로 예상하고 있다. 따라서, 여러 가지 대안을 고려하고 있으나 현재로서 가장 가능성이 높게 점쳐지고 있는 대안은 연 X-선 (Soft X-Ray) 영역인 13.5nm 파장을 이용한 EUV공정(Extreme Ultraviolet Lithography) 기술이다. 이 기술은 2010년 이후에나 양산에 도입될 것으로 전망된다.

2000년 이후, 반도체 생산용 엑시머 레이저 시장의 확대와 더불어, 기술과 시장형성을 주도해온 미국의 싸이머社 외에도 일본의 기가포톤社 또한 일부 KrF 엑시머레이저를 국내에 출시하였으며, 독일의 람다피직社(Lambda Physik) 또한 유럽시장을 시작으로 일부 모델들을 출시하고 있다. 그러나 Cymer社 외의 엑시머 레이저 공급 업체들의 국내 시장 진출 및 해외 시장에서의 성

과는 미미한 상태이다.

2001년 반도체 시장은 유래 없는 불황을 맞게 되었으며, 반도체 장비 시장 또한 매우 큰 폭으로 위축되었다.

그러나 금년 초에 Dataquest에 의해 발표된 시장 전망에 의하면, 2003년 이후 3~4년간 엑시머 레이저를 이용한 DUV 노광장비 시장은

큰 폭으로 확대될 것으로 전망하고 있으며, DRAM 수요의 증가와 12인치(300mm) 공정의 가속화가 그 예상을 뒷받침 하고 있다. 특히, KrF엑시머 레이저 공정 이후에 도입될 ArF엑시머 레이저 시장의 확대가 주목된다.

국내의 반도체 노광 공정용 엑시머 레이저 개발은 매우 미약한 수준이다. 그 기술적 어려움과 더불어 막대한 투자비용은 산업용 레이저를 개발하고 출시하는 업체로선 감당하기 어려운 상황일 것이다. 일부 국내업체의 경우, 엑시머 레이저의 핵심 부품인 챔버(Laser Discharge Chamber)의 보수(Repair)를 시도하는 상황이며 무르고 있다.

더욱이, 급격한 반도체 공정기술의 변화와 더불어 엑시머 레이저의 광학적 요구사항이 더욱 높아지고 4KHz 이상의 반복률을 갖는 레이저를 요구하고 있는 상황에서 국내 기술의 상업화는 많은 연구진의 노력이 필요한 상황이다.