

고집적 반도체 미세 가공용 레지스트

선진화된 미세 가공 기술(lithography)은 반도체 소자(integrated circuits : IC) 집적도의 고도화에 따라 계속하여 발전되고 있는데, 빛을 이용하는 광 미세 가공 기술(optical lithography)은 초고집적 메모리 반도체(ultralarge scale IC : ULSI)의 생산과 개발에 있어서 1990년대에도 핵심 기술로서 계속하여 요청되고 발전될 것으로 예측된다. 메모리 반도체 소자 DRAM의 집적도는 매3년마다 4배씩 증가되었는데, 근년에는 기술 개발의 속도가 가속화되는 경향이 있다.

축소 노광 장치(projection stepper/aligner)를 사용하는 초미세 가공 기술(microlithography)은 그간 괄목할 발전을 이룩하여 최소 형상 크기(minimum feature size : MFS 혹은 최소 선폭, minimum line width)가 submicron($1.0\ \mu\text{m}$ 이하) 영역을 넘어서 sub-half micron ($0.5\ \mu\text{m}$ 이하) 영역에 까지 도달하

고 있다. 1990년 부터 국내에서도 $0.7\ \mu\text{m}$ MFS의 4 M bit DRAM이 상업생산되고 있으며, $0.5\ \mu\text{m}$ 최소 선폭의 16M bit DRAM도 역시 금년에 시제품이 개발되었다. 광 미세 가공 기술이 처음의 예측 보다 큰 발전을 이룩하여 현재의 $0.5\ \mu\text{m}$ 급 MFS 고해상도 달성이 가능하게 된 두가지 중요한 요소로는 여러 미세 가공 기술 요소 중에서도 발전된 step-and-repeat 노광 장치(stepper)와 고해상성 포토레지스트(photoresist)가 거론된다.

Table 1에 반도체 집적도의 발전과 함께 성능이 개량된 노광 장치의 사용과 레지스트 재료의 발전에 관하여 요약하였다. 고집적 반도체(LSI)의 생산에 있어서는 그간 사용하던 환화 고무(cyclized rubber)를 이용한 광가교형 감광성 고분자 대신에 노불락 수지를 기본으로한 포지티브형 포토레지스트를 사용하게 되었다. 크레졸의 노불락 수지에 감광성 화합

Table 1. Development of Photoresists

Year	Scale of Integration	Minimum Linewidth	Exposure Equipment	Photoresist
1970	1 Kbit	$10\ \mu\text{m}$	contact aligner	Rubber based negative
1973	4 Kbit	$8\ \mu\text{m}$	contact aligner	Rubber based negative
1976	16 Kbit	$5\ \mu\text{m}$	contact aligner	Rubber based negative
1979	64 Kbit	$2\ \mu\text{m}$	contact aligner 1:1 mirror projection	Rubber based negative Novolac type positive
1982	256 Kbit	$2\ \mu\text{m}$	10:1 stepper (NA 0.28)	Novolac type positive
1985	1 Mbit	$1.2\ \mu\text{m}$	5:1 stepper (NA 0.35, G-line)	High resolution positive photoresist of DQ-novolac type
1988	4 Mbit	$0.8\ \mu\text{m}$	5:1 stepper (NA 0.45~0.5, G-line)	High resolution positive photoresist and multilayer process
1992	16 Mbit	$0.5\ \mu\text{m}$	5:1 stepper (NA 0.45, I-line) KrF excimer laser stepper	Deep UV resist, Multilayer process, Positive photoresist

물인 diazonaphthoquinone(DQ) 유도체를 혼합하여 만든 DQ-novolac 포토레지스트는 고해상도의 달성이 가능하고 우수한 미세 가공 특성을 가져서, 이후로 현재의 초고집적 반도체(VLSI)의 대량 생산에까지 계속 사용되고 있다. DQ-노볼락 포토레지스트는 레지스트의 요구 특성인 박막 형성, 건식 오텍 내성, 알칼리 현상성 등 공정 특성과 서브미크론 고해상도의 달성도 가능하여 미세 가공 기술의 핵심 재료로서 그 지위를 오랫동안 유지하고 있다.

Table 1에 기술한 바와 같이 VLSI의 집적도가 Mbit DRAM으로 향상되면서 최소 선폭이 $1\mu\text{m}$ 이하로 축소되고 있다. 따라서 포토레지스트 역시 고해상도의 달성을 위하여 성능이 개선되었고 아울러 미세 가공 공정 기술의 발전이 필요하게 되었고, 노광 장치 스테퍼의 노광 파장과 개구수(numerical aperture : NA)의 개량이 이루어졌다. 해상도(resolution)는 $k\lambda/\text{NA}$ 라는 간단한 식으로 표현되는데(k 는 공정에 따른 상수로 $1.0\sim 0.5$), 개구수 NA가 커지고 노광 파장 λ 가 짧아지면 해상도의 증가를 가져온다. 현재까지 VLSI 생산에는 G-선(436nm)의 파장이 이용되었는데, 4M와 16M DRAM의 생산에서는 I-선(365nm) 파장을 이용하는 스테퍼가 사용된다. 따라서 16M bit DRAM의 생산에 본격적으로 이용될 I-선 스테퍼용 레지스트는 이 파장에서 민감히 반응하여 $0.5\mu\text{m}$ 의 고해상도를 달성하여야 하는데, I-선용 포토레지스트로는 DQ유도체를 감광 성분으로 혼합한 노볼락 수지가 mid-UV 레지스트로서 상업화되었다.

반도체의 고집적화는 세계 첨단 과학 기술 발전의 바탕이 되는데, 이미 16M DRAM은 1988년에 개발되어 시제품이 나와있는 상태로 '91년경에는 상업 생산 되리라는 예측이다. 그런데 64 Mbit DRAM의 생산에 이르러서는 그 미세 가공 기술에 관하여는 아직 확정된 기술이 없는 실정이다. I-선용 레지스트를 이용하여 NA 0.45의 스테퍼로 노광하면 $0.40\mu\text{m}$ 의 해상력이 가능한 것으로 밝혀져, I-선 레지스트의 최적화에 따라 64M DRAM의 초미세 가공에 요구되는 $0.35\mu\text{m}$ 의 최소 선폭이 가능할 수도 있어

서, 64M DRAM의 제1세대 생산에 적어도 I-선 레지스트 재료가 기여할 것으로 기대된다.

Fig. 1에 감광성 고분자(또는 감방사선 고분자)를 이용하여 만든 레지스트의 미세 화상 패턴을 보였지만, $0.5\mu\text{m}$ 이하의 sub-half micron (즉 nm급) 초 미세 패턴을 만들기 위하여는 보다 짧은 파장을 갖는 원자외선(deep UV, $200\sim 300\text{nm}$), 전자선(electron beam), X-선, ion beam 등 고에너지 조사원의 응용이 예견되고 있다. 전자선은 이미 오래전부터 원마스크의 미세 패턴을 만드는데 이용되었고 각종의 전자선 감응성 레지스트 물질(유기고분자)이 상품화되어 있다. 사실에 있어서 64 Mbit DRAM 시작품의 개발이 일본에서 1990년 6월에 보고되었는데, 여기에는 전자선 레지스트를 이용하여 $0.30\mu\text{m}$ 의 최소 선폭이 만들어졌다고 한다. 전자선으로는 미세 가공 시 일괄 노광이 곤란하므로 이 방법으로는 반도체의 대량 생산이 불가능하여 짧은 파장의 원자외선이나 X-선이 초고집적도 ULSI의 대량 생산에 기여할 것으로 예측된다. 앞으로 $0.35\mu\text{m}$ 선폭의 64M DRAM은 '95년경에 생산될 것으로 예측되고, $0.25\mu\text{m}$ 선폭급의 256 Mb DRAM은 2000년대에 들어서 생산되고 궁극적으로 $0.18\mu\text{m}$ 급의 1Gbit 반도체 소자가 개발될 것으로 추측된다.

원자외선 레지스트는 $0.5\mu\text{m}$ 이하의 미세 가공에 있어서 큰 역할을 하고 특히 64M DRAM 이상의 고집적 반도체의 생산에 유용할 것으로 기대되고 있다.

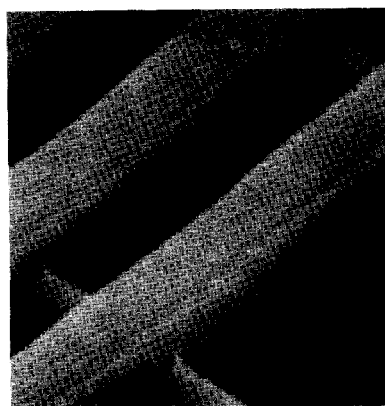


Fig. 1. 단차 위에 만든 포토레지스트 미세 형상

특히 광강도(light intensity)가 큰 excimer laser (KrF, 248nm)를 이용한 초미세 가공 기술은 실제 응용성이 높게 생각되고 있다. 엑사이머 레이저 미세 가공법은 현재의 광 미세 가공 기술에 기본을 두고 광원의 노광 파장만 변경되므로 종래의 기술이 그대로 이용되어 유리하다. 원자외선 레지스트 재료에 있어서는 종래의 I선, G선용 노볼락 수지가 원자외선 영역에서 큰 광흡수를 보여서 고해상도의 달성이 어렵기 때문에 전적으로 새로운 레지스트 고분자의

개발이 요구되어, 현재 많은 원자외선 레지스트 고분자가 고안되어 응용성이 검토되고 있다. 여기에서 특히 고려되는 특성으로는 원자외선에서의 적절한 광흡수도, 건식 에칭 내성, 내열성, 고감도(high sensitivity)가 필요하다. 특히 원자외선 영역에서의 고감도의 달성을 위하여 화학 증폭(chemical amplification) 개념을 이용한 레지스트 고분자가 최근에 관심을 끌고 있다.

(KIST 안광덕)