

3D 멀티칩 패키징용 Temporary Bonding & Debonding 접착소재

Temporary Bonding & Debonding Adhesives for 3D Multichip Packaging

이승우¹ · 박초희¹ · 박지원¹ · 임동혁^{1,2} · 김현중¹ · 송준엽³ · 이재학³
 | Seung-Woo Lee¹ · Cho-Hee Park¹ · Ji-Won Park¹ · Dong-Hyuk Lim^{1,2} · Hyun-Joong Kim¹ · Jun-Yeob Song³ · Jae-Hak Lee³

¹Lab. of Adhesion and Bio-Composites, Program in Environmental Materials Science,
 College of Agriculture and Life Sciences, Seoul National University,

Daehak-dong, Gwanak-gu, Seoul 151-921, Korea,

²Techpia, 639, Bon-ri, Chung-Ju 380-871, Korea,

³Department of Ultra Precision Machines and Systems, Korea Institute of Machinery & Materials,
 156, Gajeongbuk-ro, Yuseong-gu, Daejeon 305-343, Korea

E-mail: hjokim@snu.ac.kr

1. 서론

반도체 칩의 소형화, 박형화, 고속처리화와 더불어 고기능성을 추구하는 산업계의 요구에 따라 디바이스 소자의 3차원(three-dimensional) 적층 방식은 괄목할 만한 기술로 떠오르고 있으며 특히 실리콘 관통 전극(through-silicon vias, TSVs)을 이용한 3차원 패키징 기술은 접속길이가 짧아 신호의 RC 지체가 매우 작아 패키지의 고성능 구현에 유리한 장점을 갖는다. 그림 1과 같이 3차원 멀티칩 패키지(3D multi-chip package)가 고성능화되어감에 따라 웨이퍼(wafer)의 두께가 50 μm 이하로 초박형화 되어가고 실리콘 관통 전극 직경이 5 μm 이하로 매우 작아질 것으로 예측되므로 디바이스 웨이퍼(device wafer) 제조시 신뢰성을 확보하고 파손을 방지하기 위해서는 초박형 웨이퍼에 대한 핸들링(handling) 기술이 요구된다. 실리콘 관통 전극을 이용한 패키징 기술은 크게 적용방식에 따라 인터포저(interposer)를 이용하여 여러 개의 칩을 접속하는 2.5D 패키징 기술과 실리콘 관통 전극이 형성된 칩을 3차원으로 적층하는 3D 패키징 기술로 구분된다.¹⁻¹⁵

실리콘 관통 전극이 형성된 초박형 디바이스 웨이퍼를 제조하기 위해서는 회로가 형성되어 있는 디바이스 웨이퍼 상단면에 실리콘 관통 전극을 형성하고 범프(bump)를 형성한 후 초박형 웨이퍼를 핸들링하기 위해 캐리어 웨이퍼(carrier wafer) 상에 임시 가고정형 접착소재(temporary bonding & debonding adhesives, 이하 TBDB 접착소재)를 이용하여 접착한다. 후속 공정으로 웨이퍼를 박형화하기 위해 하단면을 두께 50 μm 이하

Author



이승우

2009 서울대학교 환경재료과학전공 (학사)
 2009-현재 서울대학교 환경재료과학전공 석박사통합과정 (박사수료)



임동혁

2003 서울대학교 환경재료과학전공 (학사)
 2005 서울대학교 환경재료과학전공 (석사)
 2009 서울대학교 환경재료과학전공 (박사수료)
 2010-현재 ㈜테크피아 연구원



김현중

1987 서울대학교 임산공학과 (학사)
 1989 서울대학교 임산공학과 (석사)
 1995 The University of Tokyo 생물재료학과 (박사)
 1995-1996 Virginia Polytechnic Institute & State Univ., Center for Adhesive & Sealant Science 화학과 박사 후 연구원
 1996-1999 State Univ. of New York at Stony Brook 재료공학과, NSF-Center for Polymer at Engineered Interface 책임연구원, 2010-현재(Adjunct Professor)
 1996-1998 Brookhaven National Lab. 물리학과 겸임연구원
 1999-현재 서울대학교 산림과학부 환경재료과학전공 교수



박초희

2009 서울대학교 환경재료과학전공 (학사)
 2009-현재 서울대학교 환경재료과학전공 석박사통합과정 (박사수료)



송준엽

2001 부산대학교 생산공학과 (박사)
 2005-현재 과학기술연립대학원, 대학교(UST) 겸임교수
 2008-현재 지경부, 차세대 반도체 MCP사업 단장
 1995-현재 한국기계연구원 실장 책임연구원



박지원

2008 서울대학교 환경재료과학전공 (학사)
 2008-현재 서울대학교 환경재료과학전공 석박사통합과정 (박사수료)



이재학

2002 고려대학교 기계공학과 (학사)
 2005 한국과학기술원 기계공학과 (석사)
 2009 한국과학기술원 기계공학과 (박사)
 2009-현재 한국기계연구원 선임연구원

로 백그라인딩(back-grinding)하고 패시베이션(passivation), 범펄(bumping), 디본딩(debonding) 공정 등을 수행하게 된다(그림 2). 여기서 웨이퍼는 약 50 μm 이하의 두께로 얇아 지므로 TBDB 접착소재는 고온/고진공의 패시베이션 공정 시 초박형 웨이퍼의 깨짐 혹은 파손을 방지하기 위해 고온 내열성이 요구되며 세척(cleaning) 공정 시 사용되는 용제에 대해 내화화성을 가져야 한다.

물론 지금까지 다양한 접착기술이 연구개발 되어왔으며 상업적으로 테이프나 왁스 류 등의 손쉬운 사용이 제안되기도 하지만 높은 온도와 가혹한 공정조건으로 인해 이러한 범용 재료는 사용이 불가능하다.¹⁶

이에 따라 본 총설에서는 차세대 반도체 3D 패키징 공정 중 박형 웨이퍼 핸들링을 위한 TBDB 접착소재의 기술동향 및 요구 물성에 초점을 맞추어 소개해 보고자 한다.

TBDB 접착소재가 적용되는 과정을 요약하면 먼저 접착 소재를 이용하여 디바이스 웨이퍼가 캐리어 웨이퍼에 접착 되고 한 쌍의 웨이퍼로써 추가작업 없이 다음 공정으로 진행된다.¹⁷⁻²¹ 백그라인딩 공정을 거친 후 디바이스 웨이퍼는 캐리어 웨이퍼로부터 분리되고 다이싱(dicing) 공정 등 후공정으로 이어지게 된다(그림 3, 4).

한편, TBDB 접착소재 기술은 백그라인딩 공정 뿐만 아니

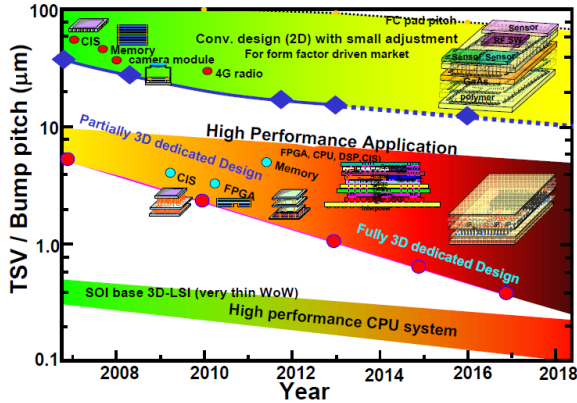


그림 1. TSV & Bump pitch 기술 로드맵(Zycube roadmap).

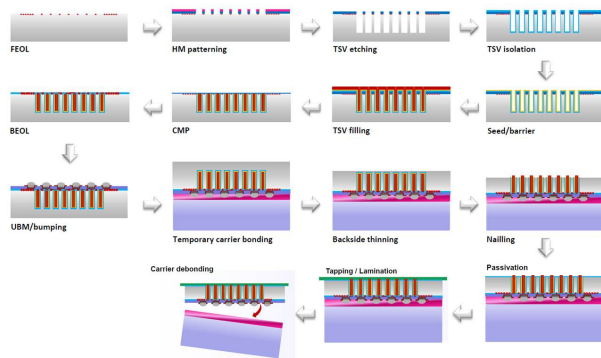


그림 2. Via middle TSV 형성 주요 공정 모식도(EVG, Brewer Science 사).

라 접착 이전의 디바이스 웨이퍼 가공 형태에 크게 의존하게 된다. 그림 5와 같이 실리콘 관통 전극 웨이퍼 제조공정은 CMOS를 형성하기 이전에 먼저 실리콘 관통 전극을 형성하

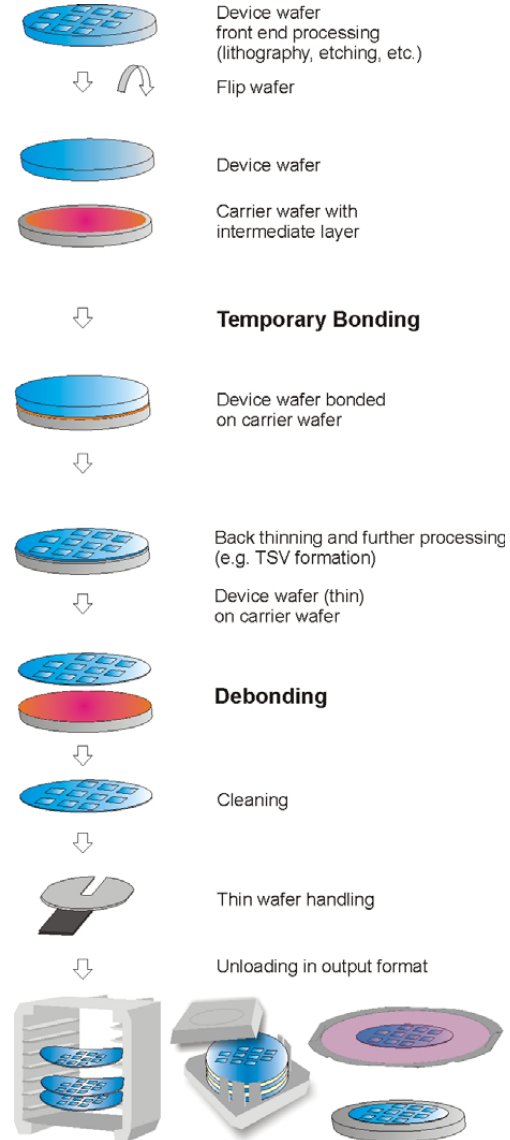


그림 3. Temporary bonding & debonding 과정 모식도(EVG, Brewer Science 사).

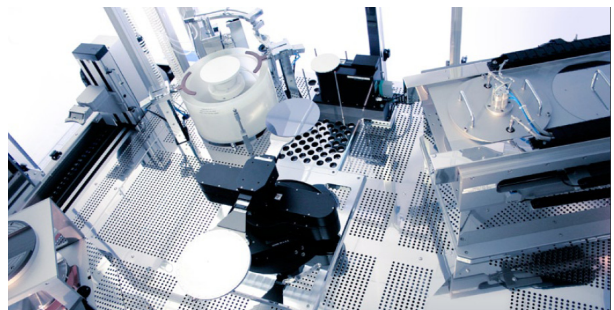


그림 4. Temporary bonding & debonding 장비(EVG, 850TB/DB).

는 via first 공정과 CMOS를 형성한 후 재배선을 하기 전에 실리콘 관통 전극을 형성하는 via middle 공정, 재배선 후에 맨 마지막으로 실리콘 관통 전극을 형성하는 via last 공정으로 구분된다. Via first와 via middle의 경우 실리콘 관통 전극이 형성된 후 접착을 하게 되는데 반하여 via last의 경우 접착 후 맨 마지막에 TSV가 형성된다.¹ 이 경우 TBDB 접착소재는 via 에칭(etching), electroplating 등과 같은 공정을 만드시 고려해야 한다. 뿐만 아니라 디바이스 웨이퍼 상단의 범프 크기 및 형태에 영향을 받게 되는데 범프 높이에 따라

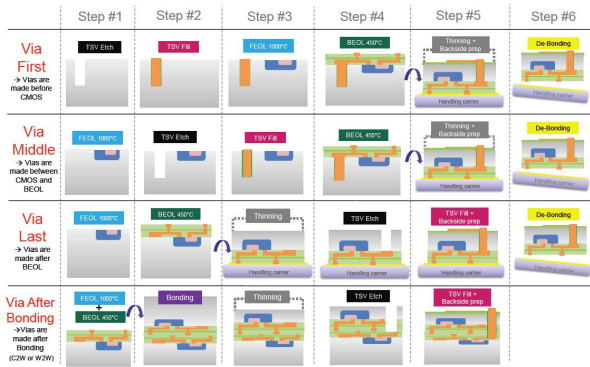


그림 5. “via first” vs “via last” 모식도.¹⁶

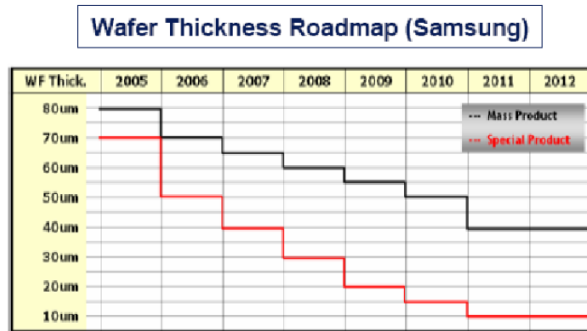


그림 6. 웨이퍼 두께 로드맵(roadmap) (삼성전자).



그림 7. PET 필름에 의한 두께 75 μm 실리콘 웨이퍼 휨(warp) 테스트 (서울대 접착과학 및 바이오복합재료 연구실 자료).

접착제 두께를 최적화시켜야 하기 때문이다. 이 밖에 중요시 되는 조건으로 웨이퍼 접착 후의 두께편차(total thickness variation, TTV) 최소화, 디본딩 이후 웨이퍼에 깨짐이나 이물질(residue) 등을 남겨서는 안 된다는 점을 들 수 있겠다.¹⁶

2. Temporary Bonding & Debonding(TBDB) 접착소재

TBDB 접착소재는 웨이퍼가 박막으로 가공되기 때문에 정밀 가공시 핸들링을 위한 중요한 요소 기술이 된다. 특히 웨이퍼의 두께가 75 μm 이하로 얇아지면 외부 충격에 민감해지고 내부 응력으로 인해 휨(warp)이 발생하여 웨이퍼에 손상을 가하게 되므로 수율이 낮아지게 된다(그림 6, 7).

따라서 이러한 문제점을 해결하기 위해 TBDB용 접착소재의 연구방향은 다음과 같이 (1) 내열성이 부여된 이중경화형 시스템(UV/열), (2) 낮은 두께편차를 위한 점도 조절, (3) 숙경화를 위한 기술 (4) 디본딩 후 무결점 상태 부여로 나누어 살펴볼 수 있다.

2.1 내열성이 부여된 이중경화형 시스템(UV/열) 도입

일반적인 접착제의 경우, 고분자 고유의 특성으로 인해 고온에서는 접착 성능이 현저하게 떨어지게 된다. 특히 250 $^{\circ}\text{C}$ 이상의 높은 온도 조건 하에서는 피착제에 대한 불량을

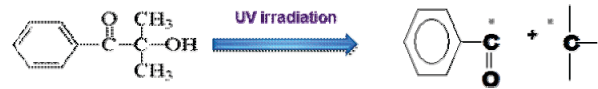


그림 8. UV 조사에 의한 광개시제의 개시반응 모식도.²²



그림 9. UV 경화에 의한 다관능성 모노머의 가교 반응 모식도.²²

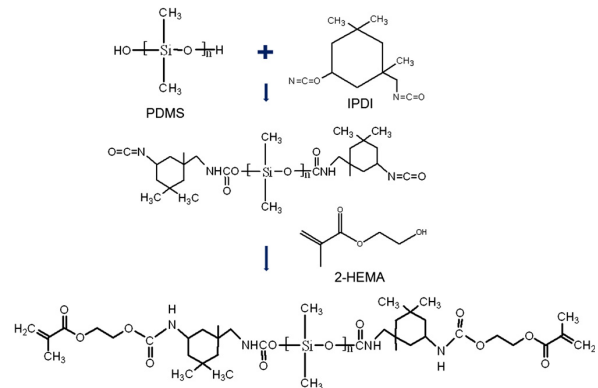


그림 10. 이중경화형(UV/열) 실리콘 변성 우레탄 접착제 합성 모식도.²²

표 1. 고내열성 이중경화 시스템(UV/열) 접착제의 구성 물질²²

Function	Materials	Abbre.	Chemical structure
Carbadiol	Polydimethylsiloxane	PDMS	
Isocyanate	Isophorone diisocyanate	IPDI	
Catalyst	Dibutyltin dilaurate	DBTDL	
Acrylate	2-hydroethylmethacrylate	2-HEMA	
	Glycidyl methacrylate	GMA	
	Dipentaerythritol hexacrylate	DPHA	
Acid	Acrylic acid	AA	
Amine	Triethylamine	TEA	
Photoinitiator	2-Hydroxy-2-methyl-1-phenyl-propan-1-one		

일으키기도 한다. 따라서 웨이퍼를 핸들링하기 위한 접착제의 고내열성 분자설계가 필요하며, 이중경화형 시스템(UV/열)을 가진 우레탄 수지의 적용을 고려해볼 수 있다. 표 1은 고내열성 이중경화 시스템(UV/열) 접착제의 원료 물질을 나타낸다. 내열성이 우수한 실리콘 계열(polydimethylsiloxane, PDMS) 올리고머와 이소시아네이트 계열(isocyanate) 모노머의 우레탄(urethane) 반응을 유도하여 선 중합체를 합성하고 UV경화를 통해 다관능성 아크릴계열 모노머의 가교를 유도한 뒤, 열경화를 통해 글리시딜기를 함유한 아크릴 모노머와의 반응을 진행하게 된다(그림 8-10).²²

TBDB 접착소재 적용 단계 중 베이킹(baking) 과정의 에너지원으로서 UV 조사에 의한 접착제의 경화를 유도할 수 있다. 광개시제의 함량, 다관능성 모노머의 종류 및 함량 등을 조절함으로써 접착제의 물성을 다르게 조절할 수 있으며

화학 반응의 속도를 조절하여 결국 요구된 내열성 부여에 대한 적절 수준의 조건을 찾게 된다. 이와 더불어 열안정성을 평가하기 위하여 열중량 분석을 도입할 수 있다. 특히 접착 메커니즘에 의한 화학반응 시 발생하게 되는 가스, 기포 생성, 접착력 유지를 고려하여 1% 미만의 중량 감소율을 간접적으로 평가해 볼 수 있다(그림 11). 광개시제의 함량이 증가할수록 UV 경화에 따른 분자 구조의 강직화, 접착제의 내열성 확보 등에 대한 연구자료가 제시된 바 있다. 하지만 미 반응 모노머의 발생, 자유 라디칼에 의한 부반응 등은 접착 고분자의 열안정성을 떨어뜨리는 인자로 지적받고 있다.

한편 접착제의 탄성을 증가시키고 내열성을 확보하기 위하여 일부 Bisphenol A 타입의 모노머를 이용하여 에폭시 반응을 유도하는 내열성 향상 이중경화 시스템(UV/열)을 도입할 수도 있다. 이 경우, 그림 12와 같이 열안정성을 부여

표 2. 고내열성 이중경화 시스템(UV/열) 접착제의 구성 물질²³

Function	Materials	Abbre.	Chemical structure
Acrylate	Bisphenol A	BPADMA	
	Glycidyl methacrylate	GMA	
	Trimethylolpropane triacrylate	TMPTA	
Acid	Acrylic acid	AA	
Amine	Triethylamine	TEA	
Photoinitiator	2-Hydroxy-2-methyl-1-phenyl-propan-1-one		

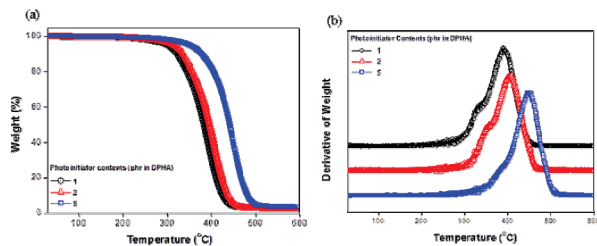


그림 11. 광개시제 함량에 따른 열중량 분석, 광량 1600 dose.²²

하기 위한 Bisphenol A 타입의 모노머와 글리시딜기를 포함하는 아크릴계 모노머, 아크릴 산 등을 이용하여 화학반응을 유도하고 다관능 모노머를 이용하여 UV경화를 유도할 있다(표 2).²³ 물성 측면에서 촉매 조건 하에 접착제 내열성이 부여되는 것을 확인할 수 있으며 여러가지 조절 인자 등을 통해 화학반응을 조절할 수 있다(그림 13).

2.2 낮은 두께편차(total thickness variation, TTV)를 위한 점도 조절

공정 적용성 평가를 위해 TBDB 접착소재는 스핀 코팅(spin coating)과 웨이퍼 로딩(wafer loading)을 거친 후 UV 경화와 열경화를 거치게 된다. 여기서 중요한 점은 스핀 코팅 시 어느 정도의 두께 편차 없이 접착제 도포가 고르게 되는가 하는 여부이다(그림 14). 일반적으로 스핀 코팅의 단점으로 지적되는 것이 중심부와 주변부의 두께 편차이다. 이

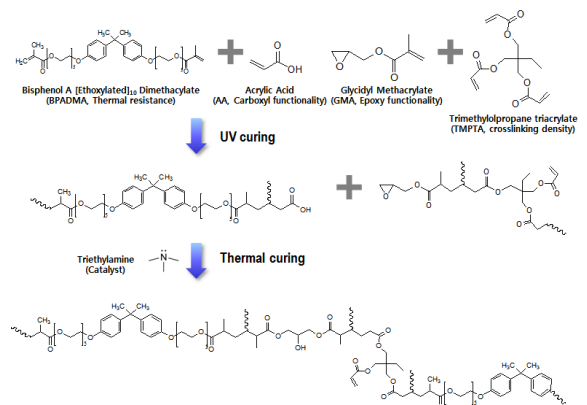


그림 12. Bisphenol A type을 이용한 이중 경화형(UV/열) 접착제 합성 모식도.²³

유는 회전을 하며 원심력에 의해 도포된 접착제가 주변부로 흐르게 되고 유변학적인 거동에 의해 도포 두께에 차이가 나게 되는 것이다. 따라서 접착제의 점도 조절이 중요한 이슈가 되는데 점도 조절은 접착제 제조 시 용제의 양에 의해 조절 가능하지만 도포 후 용제가 상온 혹은 고온 조건에서 증발하여 미세 기포또는 이물질을 발생 시킬 수 있으므로 주의해야 한다. 더군다나 미세 기포, 이물질 등은 웨이퍼 로딩 시 불량요소로 작용하여 고압 조건에서 웨이퍼에 깨짐이나 미세 파티클(particle)을 발생시켜 수율 저하로 이어지게 하고 고가의 공정 장비에 큰 손상을 끼치게 할 수도 한다. 따라서 접착제의 고형분 함량을 조절하거나 스핀 코터의 회전 속도,

시간, 접착제 도포량 그리고 도포 후 베이킹 등을 조절하여 이러한 문제를 해결하여야 한다(그림 15).

2.3 속경화를 위한 기술

TBDB 접착 소재의 본딩 시 적용되는 기술은 화학적 결합에 의한 접착, 열에 의한 접착, UV 조사 의한 접착 등을 들 수 있다. 이중 속경화 공정용에 적합한 요소 기술은 UV 조사에 의한 방식이며 기존의 십 수초 대의 경화시간을 수초 대의 시간으로 단축시켜 공정속도 향상과 비용 절감의 효과를 누릴 수 있게 된다²⁴⁻³⁶. 따라서 UV 조사를 통해 다관능성 모노머의 가교를 유도하고 피착제 표면에 접착력을 부여하는 아크릴 공중합체에 다양한 유리전이온도를 가진 광경화형 아크릴 모노머 및 광개시제를 혼합하여 광경화 접착제를

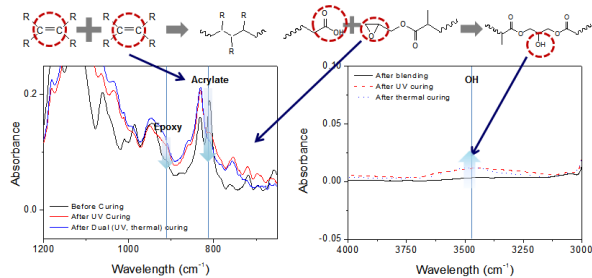
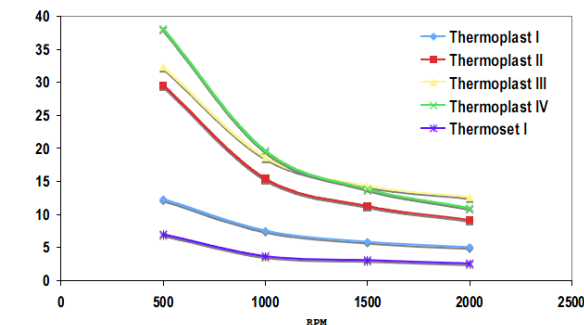


그림 13. Bisphenol A type을 이용한 이중경화형(UV/열) 접착제의 적외선 분광 분석.²³



그림 14. 스핀 코터를 이용한 이중경화형(UV/열) 접착제의 적용.



Sample	Thickness (μm)				Avg TTV(%)
	@ 500 rpm	@ 1000 rpm	@ 1500 rpm	@ 2000 rpm	
Thermoplast I	12.3	7.56	5.89	5.06	3.05
Thermoplast II	38.08	19.64	13.83	10.99	4.46
Thermoplast III	12.3	7.56	5.89	5.06	4.72
Thermoplast IV	38.08	19.64	13.83	10.99	7.44
Thermoset I	7.01	3.7	3.09	2.62	9.33

그림 15. 스핀 코터의 회전속도에 따른 접착제의 두께편차 측정 결과(EVG, Brewer Science사).

제조할 수 있게 된다. 관능기 갯수에 따른 UV 조사 전후의 물성 변화에 대한 이전 연구를 살펴보면 관능기 갯수가 최종적인 물성에 가장 큰 영향을 끼치게 된다는 사실을 얻을 수 있다(그림 16). 이는 최종적인 가교 밀도와 연관시켜 볼 때 관능기 갯수가 많아질수록 가교밀도는 상승하고 더 이상 고분자가 피착제에 젖어 들어가지 못하여 점착물성을 크게 떨어뜨리는 모습을 보이게 되는 것이다. 더불어 물성 발현에 영향을 끼치는 중요한 인자 중의 하나로 코팅 두께를 언급할 수 있는데 코팅 두께가 증가할수록 광 투과에 대한 경화가 더디게 진행하여 최종 물성에 영향을 끼치게 된다. 반면 코팅 두께가 얇아질수록 광경화의 효율은 증가하나 수초대의 경화 반응으로 물성 조절이 어려워지고 최종 접착력 또한 낮아지는 결과를 얻게 된다. 따라서 박형 웨이퍼의 핸들링에 쓰이는 광경화형 모노머의 종류와 함량, 광개시제의 종류와 함량, 광 조사량, 코팅 두께 등의 요소 기술을 종합적으로 설계해야 한다(그림 17-20). 한편 접착제 조성물에 이러한 단분자 다관능성 올리고머가 아크릴 고분자에 단순히 혼합됨으로써 가소화가 진행될 수 있는데 단분자 다관능 올리고머는 대개 점성을 갖는 액상 또는 반고상의 화합물이기에 특별한 반응이나 결합을 형성하지 않게 되고 시간의 경과에 따라 조성물을 가소화시키고 사용되는 피착제 표면을 가소화시켜 접착 물성을 변화시키게 된다. 더불어 단분자들은 시간의 경과에 따라 접착층 표면으로 이행하려는 성질로 인해 표면에 단분자 다관능 올리고머로 형성된 단분자 막이 형성되어 물성을 떨어뜨리는 역할을 할 수도 있다. 경화 후에는 다관능 올리고머의 특성상 웨이퍼 표면에 고착되어 디본딩 시 잘 제거되지 않는 단점을 가지기도 한다. 따라서 이러한 부분에 주안점을 두어 요소 기술을 개발하고 속경화형 접착소재의 조성물 및 조성을 결정해야 한다.

2.4 디본딩 후 무결점 상태 부여

디본딩 후 제거되지 않은 접착제는 웨이퍼 깨짐, 범프 손상 등을 일으켜 수율 감소 뿐만 아니라 고가의 장비 고장으로까지

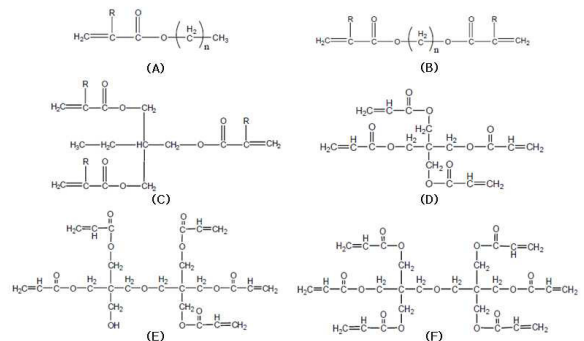


그림 16. 다관능 광경화형 모노머의 종류(A부터 F까지 순서대로 mono, di, tri, tetra, penta, hexa).

연계될 수 있어 큰 문제가 될 수 있다. 특히 박형 웨이퍼 가공의 경우 이 같은 문제점들은 수율 감소의 첫 번째 원인으로 손꼽히게 된다. 따라서 디본딩 시 무결점 상태를 부여하기 위해서는 접착제 자체의 분자설계를 신중하게 고려하고 공정 조건, 디본딩 방식에 대한 다각적인 연구가 진행되어야 한다 (그림 21).

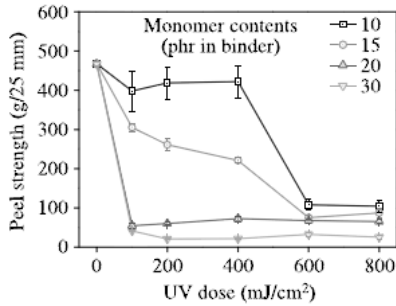


그림 17. 다관능(hexa) 광경화형 모노머 함량별 UV조사량에 따른 접착물성.³³

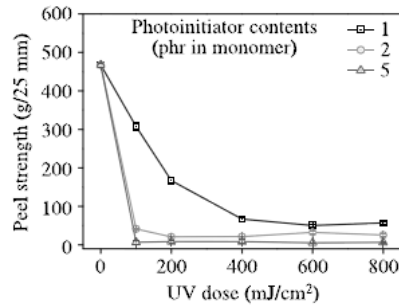


그림 18. 광개시제 함량별 UV조사량에 따른 접착물성.³³

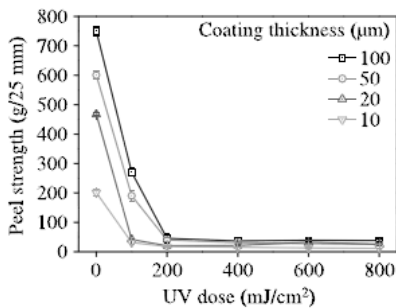


그림 19. 코팅 두께별 UV조사량에 따른 접착물성.³³

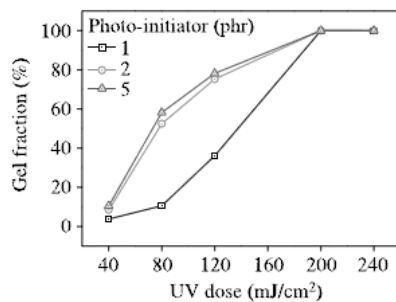


그림 20. 광개시제 함량별 UV조사량에 따른 겔분율 측정.³³

3. 결론

3D 멀티칩 패키징용 TBDB 접착소재에 대한 연구 및 기술 개발은 아직 진행 단계에 있다. 특히 고효율 칩 적층을 위한 박형 웨이퍼의 핸들링 기술은 물리, 화학, 정밀기계 등 다양한 분야의 협력 연구를 통해서만 얻을 수 있는 차세대 정밀기술이기도 하다. 그 중 고내열성 TBDB 접착소재 자체에 대한 연구는 해외에 전적으로 의존하고 있는 것이 현실이다. 특히, 본딩에 대한 접근방식은 어느 정도 수렴되어 있지만 디본딩에 대한 방식 자체는 아직 양산 수율 확보에 큰 어려움을 겪고 있다. Brewer Science Inc.사와 EV Group 사에 의해 제안된 가열방식에 따른 열가소성 접착소재의 slide off 방식(그림 22), 3M사에 의해 제안된 UV 경화형 접착소재

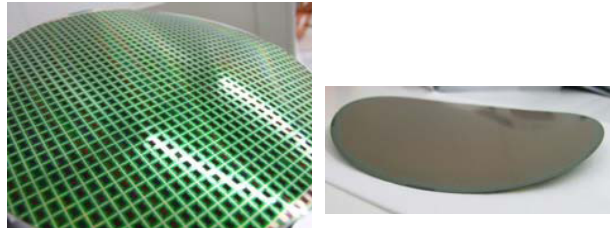


그림 21. 디본딩 후 TSV 웨이퍼의 앞면(EVG, Brewer Science사).

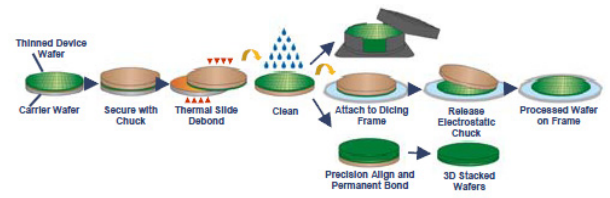


그림 22. 가열에 의한 slide-off debonding 방식(Brewer Science Inc.).



그림 23. UV 경화형 접착소재의 laser에 의한 박리 방식(3M).

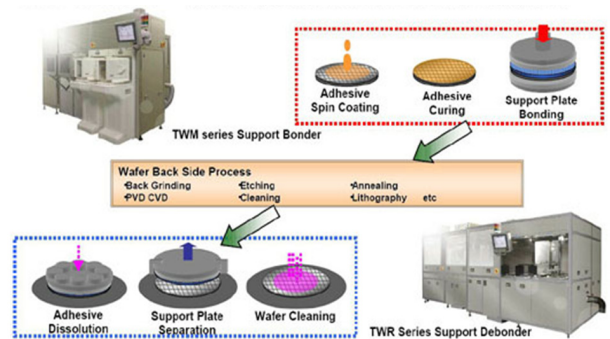


그림 24. 용제 침투에 따른 고분자의 용해를 이용한 박리 방식(Tokyo Ohka Kogyo, Japan).

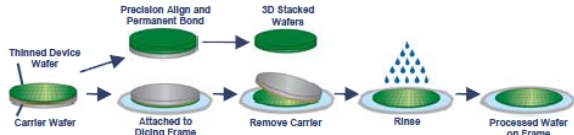


그림 25. Release 필름 층을 이용한 박리 방식(Thin Materials AG, Germany).

의 laser에 의한 박리 방식(그림 23), Tokyo Ohka Kogyo (Japan) 사에 의해 제안된 용제 침투에 따른 고분자의 용해를 이용한 박리 방식(그림 24), Thin Materials AG(Germany) 사에 의해 제안된 release 필름 층을 이용한 박리 방식(그림 25), Brewer Science Inc. 사에 의해 제안된 일부 영역에만 접착제를 도포한 후 박리시키는 방식 등이 있지만 300℃ 이상의 고온 공정 조건에 적용시키기에는 한계가 있다. 따라서 디본딩 방식에 대한 보다 면밀하고 다각적인 연구가 필요한 시점이다.

감사의 글

본 연구는 산업기술연구회 협동연구사업 (과제명:차세대 반도체 MCP 핵심기술개발)의 연구비 지원으로 수행 중이며 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. P. Garrou, C. Bower, P. Ramm, Handbook of 3D Integration: Technology and Applications of 3D Integrated Circuits, Wiley-VCH VerlagGmbH, Weinheim 27 (2008).
2. M. Motoyoshi, M. Koyanagi, *Proc. of PIXEL 2008 International Workshop*, 3 (2008).
3. J.A. Davis, R. Venkatesan, A. Kaloyeros, M. Beylansky, S.J. Souri, K. Banerjee, K.C. Saraswat, A. Rahman, R. Reif, J.D. Meindl, *Proc. IEEE*, **89**(3), 305 (2001).
4. J.-Q. Lu, Y. Kwon, A. Jindal, K.-W. Lee, J. McMahon, G. Rajagopalan, A.Y. Zeng, R.P. Kraft, B. Altemus, B. Xu, E. Eisenbraun, J. Castracane, J.F. McDonald, T.S. Cale, A. Kaloyeros, R.J. Gutmann, *Proc. VMIC*, 445 (2002).
5. K. Warner, J. Burns, C. Keast, R. Kunz, D. Lennon, A. Loomis, W. Mowers, D. Yost, *Proc. IEEE International SOI Conference*, 123 (2002).
6. K. Warner, C. Chen, R. D'Onofrio, C. Keast, and S. Poesse, *Proc. IEEE International SOI Conference*, 71 (2004).
7. P. Morrow, M. J. Koblinsky, S. Ramanathan, C.-M. Park, M. Harmes, V. Ramachandrarao, H.-M. Park, G. Kloster, S. List, S. Kim, *Proc. Advanced Metalization Conference*, 125 (2004).
8. R. Reif, C.S. Tan, A. Fan, K.-N. Chen, S. Das, and N. Checka, *Proc. MRS*, 37 (2003).
9. K. N. Cheng, A. Fan, C. S. Tan, and R. Reif, *Proc. IEEE EDL*, 10 (2004).
10. F. Niklaus, R.J. Kumar, J.J. McMahon, J. Yu, T. Matthias, M. Wimplinger, P. Lindner, J.-Q. Lu, T.S. Cale, and R.J. Gutmann, *Proc. MRS*, DOI : 10.1557/PROC-863-B108 (2005).

11. R.J. Gutmann, J.J. McMahon, S. Rao, F. Niklaus, J.-Q. Lu, *Proc. IWLP*, 215 (2005).
12. J.-Q. Lu, A. Jindal, Y. Kwon, J. J. McMahon, T. S. Cale, and R. J. Gutmann, *Proc. IEEE IITC*, 74 (2003).
13. F. Niklaus, S. Haas, G. Stemme, *IEEE Journal of Microelectromechanical Systems*, **12**, 465 (2003).
14. F. Niklaus, J. Pejnefors, M. Dainese, M. Häggblad, P.-E. Hellström, U. Wällgren, G. Stemme, *Proc. SPIE*, 521 (2004).
15. H. Noh, Kyoung-sik Moon, A. Cannon, P.J. Hesketh, C.P. Wong, *Proc. IEEE Electronic Components and Technology Conference*, 924 (2004).
16. P. Ramm, J.J.Q. Lu, M.M.V. Taklo, Handbook of Wafer Bonding, Wiley-VCH VerlagGmbH, Weinheim (2012).
17. R. Puligadda, High performance temporary adhesives for wafer bonding application, *MRS Symp. Proc.*, 9 (2007).
18. S. Hosali, wafer level 3-D ICs process technology, Springer, New York, p.85 (2008).
19. J. Hermanowski, *Electronic Components and Technology Conference*, 121 (2009).
20. S. Pargfrieder, *Advanced Packaging*, 108 (2009).
21. J.M. Wolf, *MRS Symp. Proc.*, 3 (2008).
22. S.-W. Lee, J.-W. Park, C.-H. Park, D.-H. Lim, H.-J. Kim, J.-Y. Song, and J.-H. Lee, *Int. J. Adhe. Adhes.*, **44**, 138 (2013).
23. C.-H. Park, S.-W. Lee, J.-W. Park, and H.-J. Kim, *React. Funct. Polym.*, **73**, 641 (2013).
24. Y. -J. Park, D.-H. Lim, H.-J. Kim, H.-S. Joo, and H.-S. Do, *J. Adhesion Sci. Technol.*, **22**, 1401 (2008).
25. H.-S. Do, J.-H. Park, and H.-J. Kim, *Eur. Polym. J.*, **44**, 3871 (2008).
26. 박지원, 배경렬, 김판석, 임동혁, 김현중, 조진구, 김백진, 이상협, *접착 및 계면*, **11**, 57 (2010).
27. H.-S. Joo, H.-S. Do, Y.-J. Park, and H.-J. Kim, *J. Adhesion Sci. Technol.*, **20**, 1573 (2006).
28. Y.-J. Park, H.-J. Kim, D.-S. Park, and I.-K. Sung, *Eur. Polym. J.*, **46**, 1642 (2010).
29. D.-H. Lim, H.-S. Do, H.-J. Kim, J.-S. Bang, and G.-H. Yoon, *J. Adhesion Sci. Technol.*, **21**, 589 (2007).
30. J.-S. Joo, Y.-J. Park, H.-S. Do, H.-J. Kim, S.-Y. Song, and K.-Y. Choi, *J. Adhesion Sci. Technol.*, **21**, 575 (2007).
31. 유종민, 남영희, 이승현, 김형일, 임동혁, 김현중, 김경만, *접착 및 계면*, **10**, 134 (2009).
32. 이승우, 박지원, 이석호, 이용주, 배경렬, 김현중, 김경만, 김형일, 유종민, *접착 및 계면*, **11**, 120 (2010).
33. S.-W. Lee, J.-W. Park, H.-J. Kim, K.-M. Kim, H.-I. Kim, and J.-M. Ryu, *J. Adhesion Sci. Technol.*, **26**, 317 (2012).
34. K.-Y. Bae, D.-H. Lim, J.-W. Park, H.-J. Kim, M. Rafailovich, and J. Sokolov, *J. Adhesion Sci. Technol.*, **26**, 361 (2012).
35. S.-W. Lee, J.-W. Park, Y.-H. Lee, H.-J. Kim, M. Rafailovich, and J. Sokolov, *J. Adhesion Sci. Technol.*, **26**, 1629 (2012).
36. E.P. Chang and D. Holguin, *J. Adhes.*, **81**, 495 (2005).