

# Fan-Out Wafer Level Package (FO-WLP) 用 UVレーザー剥離型仮止材料の開発

## UV Laser Releasable Temporary Bonding Materials for Fan-Out Wafer Level Package (FO-WLP)

大喜多 健三\*<sup>1</sup> 水野 光\*<sup>2</sup> 石井 寛之\*<sup>3</sup> 加藤 仁史\*<sup>4</sup>  
Kenzo Ohkita Hikaru Mizuno Hiroyuki Ishii Hitoshi Kato  
森 隆\*<sup>5</sup> 石川 弘樹\*<sup>6</sup> 丸山 洋一郎\*<sup>7</sup> 長谷川 公一\*<sup>8</sup>  
Takashi Mori Hiroki Ishikawa Yooichiroh Maruyama Koichi Hasegawa

Temporary bonding/de-bonding (TBDB) technology in a FO-WLP process is required to adapt to a low temperature process because of the potential for damage in handling the thin molded compound embedding dies. We have developed laser releasable TBDB materials for low temperature bonding processes that enable UV laser release with high throughput and low thermal/mechanical stress. The developed TBDB materials consist of two layers, an adhesive layer and a release layer. The appropriate wafer bonding temperature can be controlled by the molecular weight of the polymer which is the main component of the adhesive material. Good bonding property has been seen, even at 160 °C by adopting the lowest molecular weight polymer. On the other hand, the release layer material exhibits excellent stability that allows for fabrication of RDLs directly onto the layer to give a stacked structure in the Chip-last (RDL-first) method. The laser energies preferred for wafer release processes are 130 mJ/cm<sup>2</sup> for a 308 nm excimer laser and 190 mJ/cm<sup>2</sup> for a 355 nm YAG. These materials will be promising for advancements of FO-WLP applications.

### 1 はじめに

近年、電子機器は劇的に軽く薄くなるとともに、高性能および高機能の要求も高まり続けており、搭載される半導体デバイスが扱う情報量も加速度的に増加している。膨大なデータを高速かつ低消費電力で処理するために、最近ではFan-Out Wafer Level Package (FO-WLP) や、貫通シリコンビア (TSV) による2.5D インターポーザーや3D パッケージなどの先端実装デバイス類が開発されてきた<sup>1)</sup>。

FO-WLPとは、小型化した半導体チップの面を超えて

外側にまで微細な再配線層 (RDL) を拡大し (fan-out)、より多くの入出力端子 (I/O interconnection) を確保できる技術である。従来のパッケージ基板による Ball Grid Array (BGA) と比較して低背化、短配線長化できることも FO-WLP の特徴である (Figure 1)。さらに、FO-WLP では複数のチップを1つのパッケージに搭載することによって、チップ間距離を短縮し高性能化を図った Fan-Out System in Package (FO-SiP) も設計可能である。

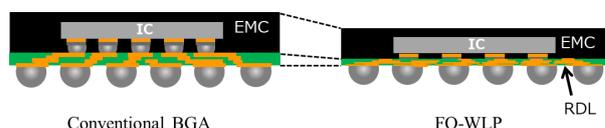


Figure 1 Illustration of conventional BGA and FO-WLP.

\*1 1994年入社 開発管理室  
\*2 2009年入社 JSR Micro, Inc.  
\*3 1998年入社 半導体材料開発室  
\*4 1997年入社 先端電子材料開発室  
\*5 2008年入社 電子材料事業部  
\*6 2008年入社 半導体材料開発室  
\*7 1998年入社 先端材料研究所  
\*8 1999年入社 先端電子材料開発室

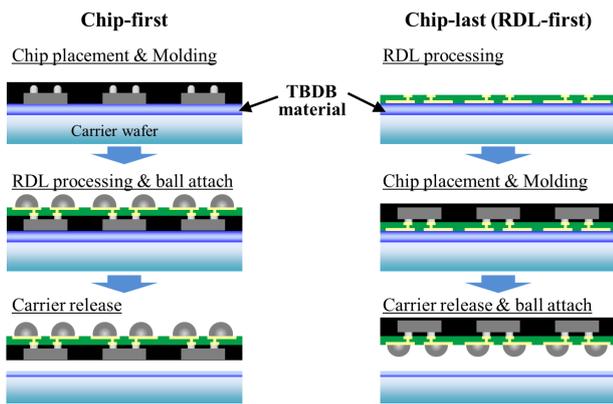


Figure 2 Temporary bonding/de-bonding (TBDB) in representative FO-WLP process.

Figure 2に示した代表的なFO-WLPプロセスからわかる通り、再配線層(RDL層)、エポキシモールド材(EMC)、半導体チップが高度に積層される。ここで各層それぞれが非常に薄いため、プロセス中におけるハンドリングのためガラスなどのキャリア上に仮止材料で固定し、最後に剥離するTemporary bonding/de-bonding (TBDB)プロセスが必要となる。各材料の線膨張係数の差異による反りやEMCからのアウトガス発生、はんだへのダメージなどを避けるため、TBDBプロセスには200℃以下での貼り合せおよび剥離が要求されることも多い。また、用いられる仮止材料にはRDL形成における絶縁膜やめっきレジストのフォトリソグラフィ工程、電解めっき工程やモールド成型工程に対する耐久性も求められる。特に、Figure 2のChip Last (RDL-first)プロセスにおいては仮止材料上に直接RDLが形成されるため、リソグラフィおよびめっきの条件に対する安定性が重要となる<sup>1)~8)</sup>。また、一連のプロセスを経た後に、仮止材料が容易に除去可能であることも必要とされる。本研究では、FO-WLPプロセスに適合したレーザー剥離型仮止材料として、低温貼り合せプロセスに適合した接着層材料、および必要な耐久性を有する剥離層材料に関して述べる。

## 2 理論

### 2.1 レーザー剥離技術

TBDBプロセスにおいては、中でも特に剥離工程がスループットや歩留まりに大きく影響する。これまでに熱スライド方式、メカニカル方式、溶剤剥離方式、レーザー剥離方式の4種が主に実用化されてきた(Table 1)。熱スライド方式では樹脂を軟化させウエハをスライド剥離するため高温が必要となる。メカニカル方式では接着力をコントロールした仮止材料を使い室温で剥離するが、接着力コントロールの困難さやウエハへの力学的ストレスが課題であり、マージンが狭く、スループット悪化とウエハ破壊による歩留まり低下を起しやすいため。溶剤剥離方式では高価な多孔質キャリアを用いる必要があり、スループットも低いため最近では一部で採用されているのみである。これらに対しレーザー剥離方式は室温かつ低い力学的ストレスでの剥離が可能であり、スループットでも他の方式と比較して高速剥離が可能で有利である<sup>9)~12)</sup>。キャリアとして一般的なシリコンウエハではなくレーザーを透過するガラスが必要であるため、一連プロセスのガラス対応が併せて必要となることがデメリットである。

レーザー剥離方式ではガラスキャリア側からレーザー光を照射し、アブレーションにより仮止材料を分解することで剥離する。Table 2に用いられる代表的なレーザー光

Table 1 De-bonding system comparison

Item	Thermal slide	Mechanical	Solvent	Laser
Operation temperature	High	Room temperature	Room temperature	Room temperature
Mechanical stress	Intermediate	High	Low	Low
Throughput	~15 wph	~20 wph	~10 wph	>40 wph
Carrier wafer	Silicon	Silicon	Perforated carrier	Glass

Table 2 Characteristics comparison of laser wavelength

Item	Laser wavelength			
	308 nm	355 nm	532 nm	1064 nm
Mechanism	Photonic cleavage	Photonic cleavage	Thermal or Photonic	Thermal degradation
Thermal effect	Low damage	Low damage	Intermediate	High thermal damage
Equipment cost	Intermediate (excimer)	Low (solid state)	Low (solid state)	Low (solid state)

の波長と特徴を示す。一般に、短波長レーザーでは光化学的機構 (Photochemical mechanism) により炭素間の結合軌道にある電子を励起し切断するアブレーションが優位となるのに対し、長波長レーザーでは光熱的機構 (Photothermal mechanism) による熱分解反応が支配的となることが知られている<sup>13), 14)</sup>。著者らはデバイスへの熱的影響を抑制するべく、308 nm エキシマレーザーおよび355 nm のYAGレーザーの2種類のUVレーザー剥離に着目して開発を進めた<sup>15), 16)</sup>。

## 2.2 レーザー剥離型仮止材料の設計コンセプト

FO-WLPプロセスには、最初に仮止材料上へとデバイスチップを配置した後にモールド成型とRDL形成を行うChip-first方式と、仮止材料上に直接RDLを形成した後にデバイスチップを接続するChip-last方式とがある (Figure 2)。前述の通り低温のプロセス温度が望ましく、種々の溶剤やエッチング液、めっき液などに対する安定性が要求される。

著者らの開発した仮止材料は、接着層材料と剥離層材料からなる (Figure 3)。デバイスウエハ側には高い接着

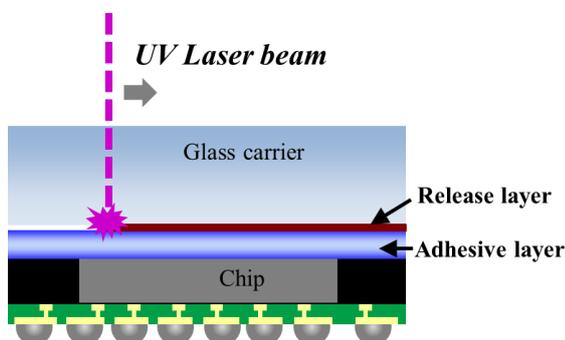
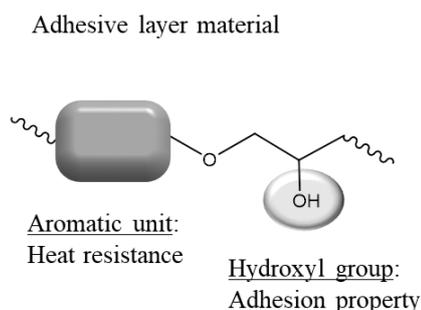


Figure 3 Layout of laser releasable temporary bonding material in FO-WLP.



性を示す接着層が接しており、剥離層材料は接着層とガラスキャリアウエハとの間に配置する。接着層材料は水酸基を有する熱可塑性の芳香族系ポリマーをベースとし (Figure 4)、ウエハ間に高い接着力を付与している。また、PGMEA やアセトンなど一般的な溶剤には難溶性である一方で、レーザー剥離後には容易に洗浄用溶剤にて溶解除去できる。また本研究では200℃以下の低温貼合に対応できるよう、ポリマーによるせん断粘度のコントロールを検討した。

一方、剥離層材料は、非常に高いUV光吸収を示す官能基を主鎖中に導入した芳香族系ポリマーとし、光化学的機構によるポリマー分子内結合の開裂を誘起する設計とした。染料や顔料など低分子のUV吸収材料は添加していないため、高濃度でのブリードアウトや析出がない点でも優れている。加えて、さらに高い安定性を獲得するべく、熱によりポリマー主鎖間で架橋する設計の熱硬化性材料とした (Figure 4)。

## 3 実験

### 3.1 接着層材料

ガラス転移温度 ( $T_g$ ) は熱機械分析 (Thermo-Mechanical Analyzer; TMA) により測定した。また、引張強度および伸び、弾性率などの機械的特性は20  $\mu\text{m}$  厚の試験片を用いて引張試験機 AGS-500NX (島津製作所) により評価した。材料の熱に対する安定性に関しては、熱重量分析 (Thermogravimetric Analysis; TGA) にて1%重量減少を測定した。せん断粘度はレオメーター AR-G2 (TA インスツルメンツ) を用い1 mm厚に成型した試験片にて評価した。

### 3.2 ウエハ接合

ウエハ接合は真空下での加熱圧着 (Thermo-compression

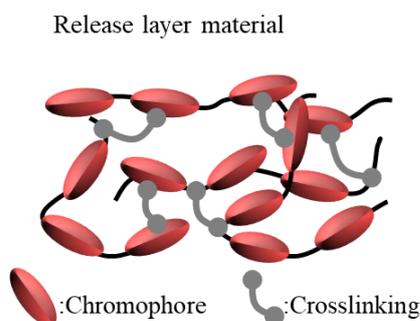


Figure 4 Polymer designs of temporary bonding materials.

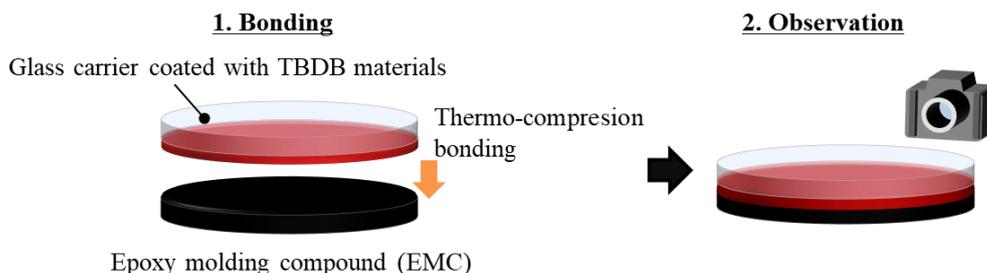


Figure 5 Thermo-compression bonding procedure.

bonding)によって行った。まず、剥離層材料を200 mm径ガラスウエハ上に500 nmの厚みでスピコートし、280 °C /5 minのベークによって熱硬化させた。続いて、剥離層上に接着層材料をベーク後の膜厚が50  $\mu\text{m}$ となるようスピコートし、ホットプレート上で110 °C /5 minおよび200 °C /10 minベークして溶剤を除去した。次に、この仮止材料でコートしたガラスウエハと、EMCメーカーより提供を受けた200 mm径のEMCウエハとを、ウエハボンダEVG520(イーヴィー・グループ)により真空下、圧着力0.2 MPaにて貼合した。その後、目視にて貼合ウエハのボイドやデラミネーションの有無を確認した(Figure 5)。また、同様の手順で300 mmシリコンウエハとの貼合も行った。

### 3.3 レーザー剥離

レーザー剥離は上記にて作成した貼合ウエハを用いて行った。UVレーザー光源としては、一つは、Ndをドープしたイットリウム・アルミニウム・ガーネット(YAG)の第3高調波レーザー(355 nm, 発振周波数50 kHz)を用い、円形ビームにて照射した。もう一つは、SUSS製デボンダELD300のXeClエキシマレーザー(308 nm, 発振周波数50 Hz)を用い、12.5 mm  $\times$  4 mm長方形ビームにて照射した。剥離はウエハ全面をUVレーザーでスキャンすることで行い、その際に未照射領域がないようスキャンピッチを調整した。

## 4 結果と考察

### 4.1 接着層の膜物性

Thermo-compression bondingによるウエハ接合工程において、接着層材料のせん断粘度は重要な要素である。そこで、異なる分子量のポリマーを適用した接着層材料に関し、せん断粘度および機械的物性を評価した。せん断粘度の温度依存性に対するプロットをFigure 6に示す。せん断粘度は主ポリマーの分子量の調整により容易に制

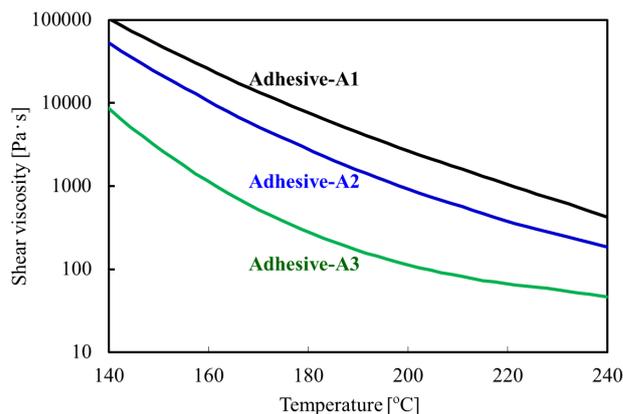


Figure 6 Shear viscosity curves of adhesive materials.

御が可能であり、本論文では200 °Cでのせん断粘度が2600 Pa·s, 910 Pa·s, 110 Pa·sの材料をそれぞれAdhesive-A1, Adhesive-A2, Adhesive-A3とする。

Table 3に接着層材料の膜物性を示す。Adhesive-A1とAdhesive-A2とを比較すると、引張伸びに僅かな差がみられることを除いて実質的に同等の物性を示した。最も分子量が低いAdhesive-A3は、ガラス転移温度( $T_g$ )は同等であったが、機械的強度は他の2材料と比較して大幅に低下した。ここで、Adhesive-A3は機械的強度が低い材料であるが、TBDBプロセスにおいては許容されるものと考え、続く実用評価を行った。

### 4.2 ウエハ接合結果

EMCウエハと、仮止材料を積層したガラスキャリアとのThermo-compression bonding(Figure 5)の結果をTable 4にまとめる。最も高分子量のAdhesive-A1の場合、ボンディング温度220 °C以上で明確なボイドや欠陥のない貼合ウエハを得られた一方で、200 °Cの貼り合せではボイドが観測された。Adhesive-A2ではその境界は180 °Cにシフトし、さらにAdhesive-A3では160 °Cで良好な貼合ウエハを得ることができた(Table 5)。これらの結果から、良好な低温ボンディングのために、低分子量ポリマー適

Table 3 Film properties of adhesive materials

Item	Adhesive material		
	Adhesive-A1	Adhesive-A2	Adhesive-A3
Molecular weight of main polymer (relative ratio) <sup>a</sup>	1.00	0.82	0.43
Glass transition temperature	90 °C	90 °C	89 °C
Tensile strength	62 MPa	62 MPa	52 MPa
Elongation	170 %	130 %	11 %
Elastic modulus	1.4 GPa	1.5 GPa	1.3 GPa
Thermal decomposition temperature (1 % weight loss under N <sub>2</sub> )	> 350 °C	> 350 °C	> 350 °C

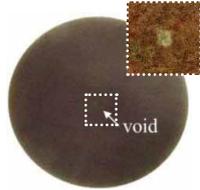
a. By gel permeation chromatography (GPC)

Table 4 EMC bonding test results

	Bonding temperature [°C]					
	140	160	180	200	220	240
Adhesive-A1 Mw relative ratio 1.0	← Error			Pass →		
Adhesive-A2 Mw relative ratio 0.82	← Error		Pass →			
Adhesive-A3 Mw relative ratio 0.43	← Error	Pass →				

← Error : void or delamination exist      Pass → : no void and no delamination

Table 5 Bonded pairs of EMC and glass carrier wafer with Adhesive-A3

Bonding temperature	140 °C	160 °C	180 °C	200 °C
Observations	 minor void No delamination	 No void No delamination	 No void No delamination	 No void No delamination

用が有効であることがわかる。また、各試料のボイド発生境界温度でのせん断粘度をFigure 5から推定すると、EMCとガラスキャリアを良好に貼合するには、せん断粘度は1000 Pa·s以下にする必要があることが分かる。貼合時のボイドは、仮止材料の塗布工程でウエハ中央部やエッジ付近に発生する、微小な盛り上がり起因すると考えられる。低分子量ポリマー適用により低せん断粘度とした

Adhesive-A3を用いることで、比較的低温でも十分な流動性ある粘度とできたと言える。

また、低分子量ポリマーを適用したAdhesive-A3の耐熱性を確認するべく、シリコンウエハとガラスキャリアとの貼合ウエハを用いて熱負荷テストを行った。その結果、絶縁膜の硬化温度を想定し200 °Cおよび220 °Cでの1時間の加熱試験の後にもボイド、デラミネーション、位置ず

Table 6 Thermal stress test results of bonded pairs of silicon wafer and glass carrier with Adhesive-A3

	After bonding	After thermal test	
		200 °C / 1 hr	220 °C / 1 hr
Observations			
	No void No delamination	No void No delamination No wafer shift	No void No delamination No wafer shift

れは観測されず、良好な耐熱性を示した (Table 6)。以上より、Adhesive-A3はFO-WLPに求められる低温貼り合せ性と耐熱性とを両立しており、有用な材料であると考えられる。

### 4.3 剥離層材料

UVレーザーの照射によって優れたウエハ剥離性能を発現させるには、レーザーアブレーションを表層の極めて浅い範囲に集中させ、熱拡散を抑えることが重要である。そのために、剥離層材料は十分に高いUV吸収能力が求められる。剥離層材料には、さらに、Chip-last (RDL-first) 法においてRDLを直上に形成できるだけの高い安定性も必要とされる。剥離層材料を形成する主ポリマーには、高いUVレーザー吸収能を付与するために、強いUV吸収ユニットを主鎖へと導入した。加えて、さらに優れた安定性を獲得するべく、ポリマー主鎖間で熱により架橋する設計の熱硬化性材料とした。Figure 7に剥離層の膜厚に対する透過率のプロットを示すが、308 nm、355 nmいずれの波長に対しても薄膜で非常に低い透過率が得られた。特に波長308 nmを効果的に吸収し、500 nmの膜厚で

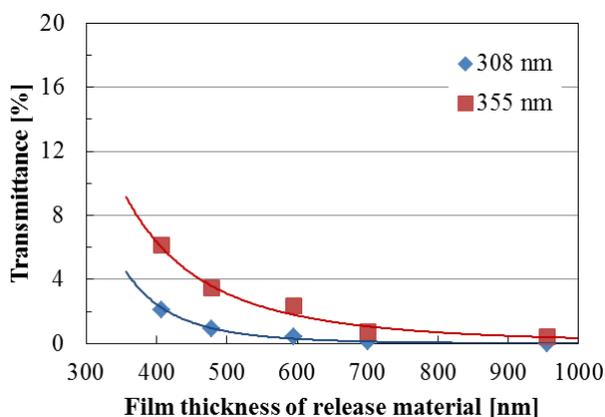


Figure 7 Transmittance of release layer material at 308 nm and 355 nm.

1 %未満の透過率を達成した。

次に、剥離層材料の化学品耐性の評価を行った。方法としてはガラスウエハ上へ剥離層材料をスピコートおよび熱硬化し、種々の薬液中に浸漬することで全面を薬液に直接接触させた。ここで、膨潤や溶解については浸漬前後の膜厚変化が±10%以内であることを基準として確認し、かつ、クラックやシワなど外観上の変化がないことと併せて合格の判定とした。薬液としてはフォトリソグラフィ工程やめっき工程で用いられる有機溶剤、フォトレジスト剥離液、過酸化水素、硫酸、TMAHについて評価した。Table 7にまとめた結果からわかる通り、本材料は種々の化学薬品に対して高い耐性を有するものであった。

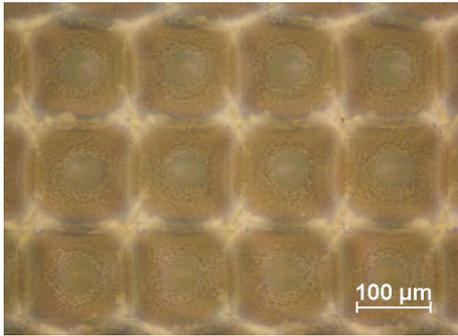
レーザー剥離は、剥離層でコートしたガラスキャリアと接着層 Adhesive-A1 でコートしたシリコンウエハとの300 mm貼合ウエハを用いて行った。UV光源としては355 nmのYAGレーザーおよび308 nmのXeClエキシマレーザーとを適用した。剥離後のガラス面およびシリコン面を光学顕微鏡で観察した結果をTable 8に示す。レー

Table 7 Chemical resistance of release layer material

Chemicals	Condition	Result
Acetone	25 °C/10 min	Pass
PGME	25 °C/10 min	Pass
PGMEA	25 °C/10 min	Pass
Isopropyl alcohol	25 °C/10 min	Pass
PR stripper	60 °C/30 min	Pass
Hydrogen peroxide aq.(30 %)	50 °C/10 min	Pass
Sulfuric acid aq.(10 %)	25 °C/30 min	Pass
TMAH aq.(2.38 %)	25 °C/10 min	Pass

Pass: Film thickness change is within ±10 % and no appearance change

Table 8 Laser release results of 300 mm bonded silicon wafer and glass carrier

Laser wavelength	Irradiated condition	Laser release	Optical micrograph through the glass carrier
308 nm	130 mJ/cm <sup>2</sup>	OK	
355 nm	190 mJ/cm <sup>2</sup>	OK	

レーザー光が照射されたエリアは剥離層材料が分解されており、色変化していることがわかる。いずれの波長の光源を用いた場合も、剥離層材料は200 mJ/cm<sup>2</sup>以下のエネルギー密度で分解され、その結果、熱や力を加えることなく貼合ウエハをスムーズに剥離することができた。300 mm ウエハ1枚の剥離に要する時間は308 nmレーザーで約60秒、355 nmレーザーで90秒以内であり、高感度のアブレーションによって高スループットの剥離が可能であった。EMCウエハをAdhesive-A1と剥離層とで貼り合せたガラスウエハに関しても、355 nmのUVレーザー照射により同条件で剥離することができた。

レーザー剥離後には、デバイス側、ガラスキャリア側ともに仮止材を容易に除去可能である。デバイスウエハ側の接着層材料は、シリコン上、EMC上のいずれも洗浄溶剤により完全に除去できた。一方、ガラスキャリア側に関しては剥離層材料が熱硬化とレーザーアブレーションにより不溶化されており、その除去にはO<sub>2</sub>プラズマを適用した。その結果、剥離層残渣は完全に除去されており、ガラスキャリアの再利用を可能とした。

## 5 まとめ

著者らは、接着層材料、剥離層材料の2種からなるUV

レーザー剥離型仮止材料を開発した。接着層材料に関しては、貼り合せ性を分子量のコントロールにより調整可能であり、最も低い分子量のAdhesive-A3はEMCとガラスキャリアとを160℃で良好に貼合可能であった。一方、剥離層材料はUVレーザー光に対し特異的に優れた吸収能を示す設計であり、照射エネルギーの抑制、デバイスへのダメージ低減、プロセス時間の低減を可能とした。その結果、本仮止材料にて接合したウエハは、308 nmおよび355 nmのいずれの波長のレーザーによっても、200 mJ/cm<sup>2</sup>以下の全面照射にて容易に剥離可能であった。また剥離工程後の洗浄に関してもシリコン上、EMC上のいずれも洗浄用溶剤にて容易に除去可能であった。さらに、剥離層材料はChip-last (RDL-first) プロセスのデバイス積層において、剥離層上へ直接RDLを形成するのに必要な化学品耐性を有している。以上の結果から、著者らの開発した仮止材料は、FO-WLP技術のTBDBプロセスに対して十分な適合性を示すと考えられる。

## 発表先

Hikaru Mizuno, Hiroyuki Ishii, Hitoshi Kato, Takashi Mori, Hiroki Ishikawa, Yooichiroh Maruyama, Kenzo Ohkita, Koichi Hasegawa: *Proc. 2018 ICEP-IAAC* (2018), p.252.

---

## References

- 1) J. H. Lau: "Fan-Out Wafer Level Packaging", Springer Nature, Singapore (2018).
- 2) G. J. Jung, B. Y. Jeon, I. S. Kang: *Proc. EPTC 2009* (2009), p.191.
- 3) Y. Kurita, S. Matsui, N. Takahashi, K. Soejima, M. Komuro, M. Itou, C. Kakegara, M. Kawano, Y. Egawa, Y. Saeki, H. Kikuchi, O. Kato, A. Yanagisawa, T. Mitsuhashi, M. Ishino, K. Shibata, S. Uchiyama, J. Yamada, H. Ikeda: *Proc. ECTC 2007* (2007), p.821.
- 4) S. W. Yoon, Y. Lin, S. Gaurav, Y. Jin, V. P. Ganesh, T. Meyer, P. C. Marimuthu, X. Baraton, A. Bahr: *Proc. ECTC 2011* (2011), p.441.
- 5) M. Santarini: *Xcell Journal*, **74**, 8 (2011).
- 6) M. Murugesan, H. Kino, H. Nohira, J. C. Bea, A. Horibe, F. Yamada, C. Miyazaki, H. Kobayashi, T. Fukushima, T. Tanaka, M. Koyanagi: *Proc. IEDM 2010* (2010), p.231.
- 7) M. Tsai, A. Lan, C. L. Shih, T. Huang, R. Chiu, S.L. Chung, J. Y. Chen, F. Chu, C. K. Chang, S. M. Yang, D. Chen and N. Kao: *Proc. ECTC 2017* (2017), p.1541.
- 8) J. H. Lau: *Chip Scale Review Magazine*: Ed. May-Jun, 25 (2015).
- 9) A. Kubo, K. Tamura, H. Imai, T. Yoshioka, S. Oya, S. Otaka: *Proc. ECTC 2014* (2014), p.899.
- 10) R. S. E. John, H. Meynen, S. Wang, P. F. Fu, C. Yeaklem S. W. W. Kim, L. Larson, S. Sullivan: *Proc. ECTC 2013* (2013), p.107.
- 11) P. Andry R. Budd, R. Polastre, C. Tsang, B. Dang, J. Knickerbocker, M. Glodde: *Proc. ECTC 2014* (2014), p.883.
- 12) A. Jourdain, A. Phommahaxay, G. Verbinnen, A. Guerrero, S. Bailey, M. Privett, K. Arnold, A. Miller, K. Rebibis, G. Beyer, E. Beyne: *Proc. ECTC 2014* (2014), p.894.
- 13) 伊藤慶子, 井上正巳, 森安雅治: 高分子論文集 **48**, 725 (1991).
- 14) R. Srinivasan: *Applied Physics*, **A56**, 417 (1993).
- 15) H. Hasegawa, T. Mori, H. Mizuno, H. Ishii, Y. Maruyama, K. Ohkita: *Proc. SMTA Pan Pacific Microelectronics Symposium 2017* (2017).
- 16) Q. Du, T. Chen, J. Liu, X. Zeng: *Applied Surface Science*, **434**, 588 (2018).