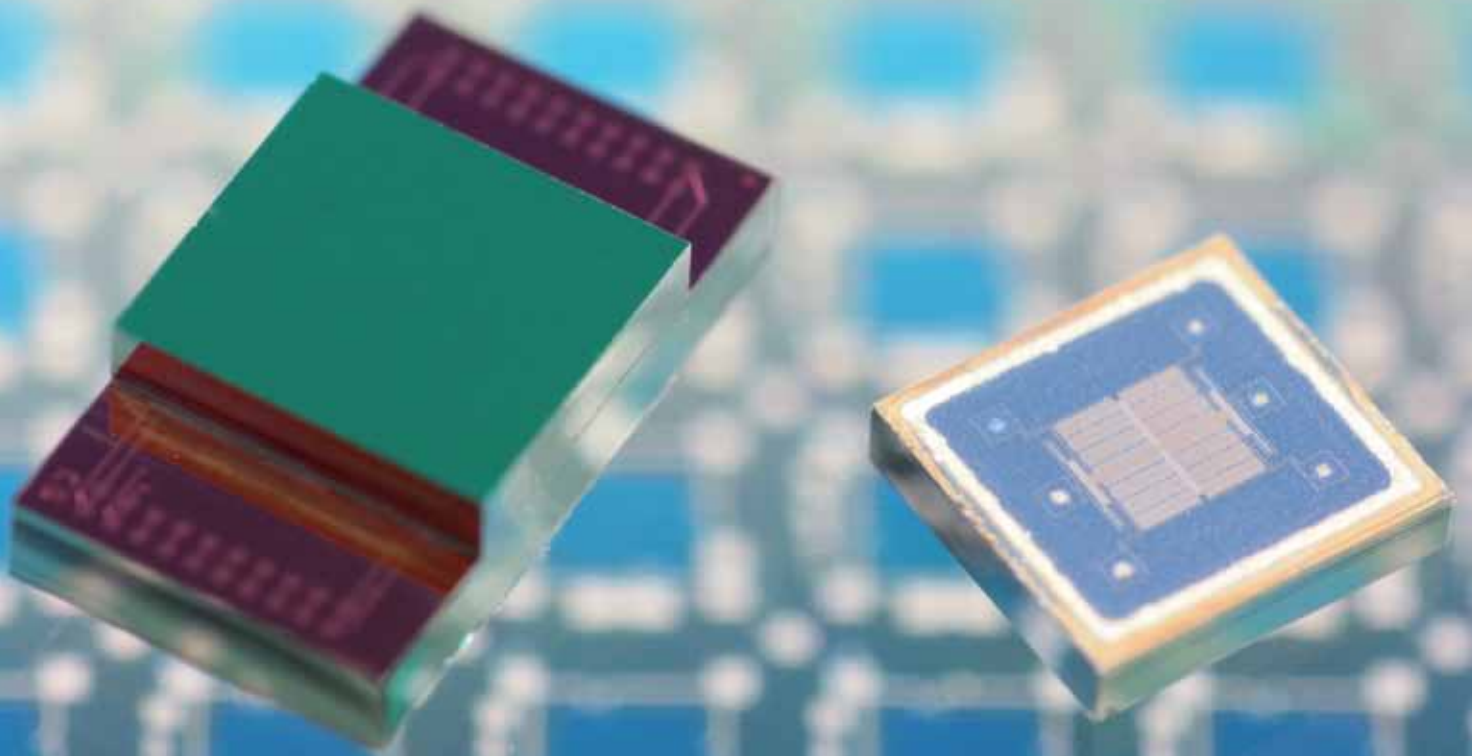
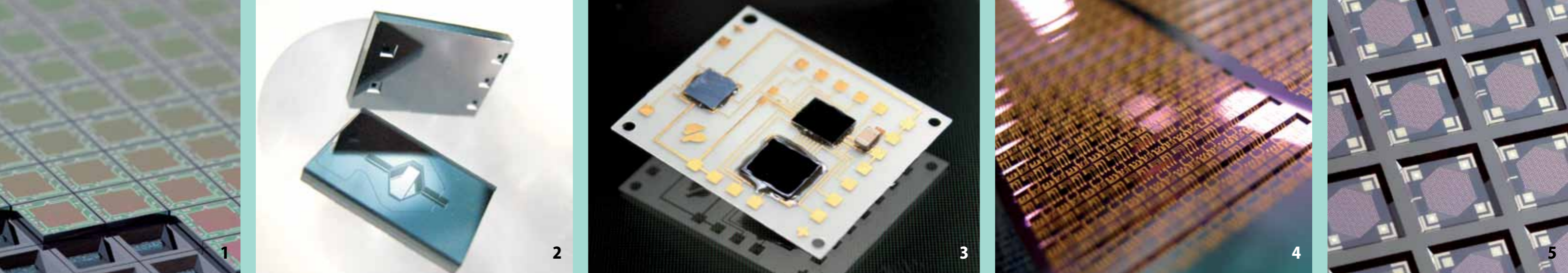


システムパッケージング





マイクロ・ナノ技術の現在の発展は非常にめざましく、今日の製品開発と技術の進歩に重要な役割を果たしています。この技術による多種多様なデバイス、発展技術、および材料の開発によって、機械、電気、光学、化学、生物などの機能を、微小スペース内の1つのシステムの中に集積可能になります。

ケムニッツに位置するフラウンホーファーENAS（エレクトロ・ナノシステム研究所）は、ドイツ、ヨーロッパおよび世界各国のパートナーとの協力のもと、マイクロ・ナノ技術を応用したスマートシステムインテグレーション分野での研究開発を行っています。将来的な産業界のニーズに基づき、フラウンホーファーENASでは以下のサービスを提供しています。

- ▶ MEMSおよびNEMS（マイクロ・ナノ電気機械システム）の開発、設計、試験
- ▶ MEMSおよびNEMSのウエハレベルのパッケージング
- ▶ マイクロ・ナノシステムと3D集積化のためのメタライゼーションおよび相互接続システム
- ▶ 革新材料系を用いた新しいセンサーおよびシステムコンセプト
- ▶ プリント機能性デバイスのシステムへの集積
- ▶ マイクロ・ナノシステムの信頼性とセキュリティ

システムパッケージング部門では、汎用パッケージング技術に研究の重点を置いています。また、パッケージング階層の様々なレベルでのMEMSおよびNEMSパッケージングに加えて、マイクロシステム基盤のマイクロ・ナノスケールの表面パターンニング技術も、大きな応用研究テーマとして取り扱っています。

シリコン直接接合、陽極接合、共晶接合、接着接合、ガラスフリット接合などの各種ウエハボンディング技法のほか、レーザーアシスト接合、反応性接合、低温熱圧着接合などの技術も研究、これら技術の特殊な応用分野への開発も行っています。各ウエハボンディング技法について、接合品質、強度、および気密性の観点から特性試験を行います。また、ダイシング、チップ、およびワイヤボンディングなどの他、複雑、小型なスマートシステムの集積技術も、システムパッケージング部門のコンピタンスです。アプリケーション特有の基板キャリア上への素子のハイブリッド集積化（シリコン基板またはインターポーザ基板上に電子、センサー、およびアクチュエータ素子の一体集積化）から垂直集積まで、集積化の可能性は広範囲にわたります。近年、3D積層技術の必要性は、チップレベルおよびウエハレベルのパッケージング分野で著しく高まっています。「More-than-Moore」戦略では、機能性と信頼性に加えて小型化と集積化を最大の課題としています。フラウンホーファーENASシステムパッケージング部門は、これらの研究技術を、新たな顧客のニーズに合った応用開発へ活用しています。

MEMSパッケージングと3D集積

MEMSパッケージングの重要性は、マイクロシステムの製造コストに占める割合からも明らかです。20~95%と開きがありますが、この偏差はアプリケーション特有の必要性の違いによるものです。MEMSパッケージングを、液体、気体、光などの測定対象媒体にアクセスさせる必要があると同時に、センサー部分を外部からの負荷から保護し、機能性を長期的に保証しなければなりません。現在のパッケージング技術は、慣性計やガスセンサーなどの受動素子だけでなく、マイクロミラーやプリントヘッドなどの能動素子にも適用されていますが、将来的には電子素子もMEMSパッケージへ実装していくことが考えられます。

システムパッケージング部門では、ウエハレベルの集積化やチップレベルのハイブリッド集積化に加えて、3D集積化技術の開発も行っています。3D集積技術を用いることにより、チップサイズが縮小し、さらに信号品質も向上します。垂直積層では、それぞれの接合技術が材料に与える影響だけでなく、システム全体の電氣的挙動と熱的挙動に与える影響にも注意が必要です。これらの技術の気密性と強度特性を試験/評価するために、当部門では各種測定ツールと評価ガイドラインも備えています。

システムパッケージング部門では、MEMSパッケージング分野で以下のテーマに重点を置いています。

- ▶ ウエハレベルパッケージングおよびMEMSパッケージング
- ▶ フィードスルーによる3D集積（シリコン貫通電極 - TSV）
- ▶ ウエハ、チップ、およびワイヤボンディング
- ▶ ナノインプリントリソグラフィおよび熱エンボス加工
- ▶ エアロゾルジェット印刷およびスクリーン印刷
- ▶ スプレーコーティングおよびスピノン
- ▶ PLD、PVD、およびECDを用いた蒸着成膜
- ▶ CMPおよびプラズマを用いた表面活性化
- ▶ ダイ分割
- ▶ 電氣的、機械的、および熱的接続
- ▶ 非標準基板およびインターポーザ
- ▶ 特性試験（気密性、強度、超音波および赤外線顕微鏡検査）

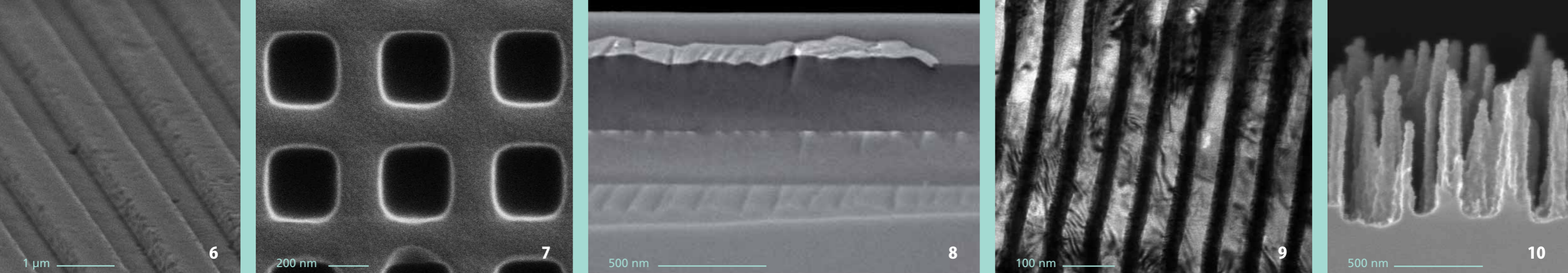
Fig. 1: ウエハレベルで接合した圧力センサー（Aktiv Sensor GmbH社と共同開発）

Fig. 2: MOEMSパッケージング（RICOH社と共同開発）

Fig. 3: フレキシブル基板を使用したハイブリッド集積化

Fig. 4: ウエハレベルで導電配線したシリコンインターポーザ

Fig. 5: 静電容量式微小機械超音波トランスデューサーレイ



ウエハボンディング

ウエハボンディングという用語は、中間層の有無にかかわらず、2枚以上のウエハを結合するあらゆる技法を表しています。システムパッケージング部門では、シリコン直接接合、陽極接合、共晶接合、接着接合、ガラスフリット接合などの標準的技法を個別で用いる他、特殊なニーズへの応用開発も行っています。現在注目を浴びている、処理温度が200℃未満の低温接合では、ナノスケール効果と新材料の利用が重要なテーマです。例えば、ナノスケール効果の利用により、ナノスケールの多層の反応性接合が可能で、しかも中間層がわずか数ナノメートルであるため、融点を下げることが出来ます。また、レーザーアシスト接合では、選択的に接合できるため、機能素子への温度影響の心配が不要です。また、波長が1908 nmのツリウム (Tm) ファイバレーザと特殊な吸収中間層を用いることにより、シリコンの透明領域での接合も可能です。

マイクロシステム技術に使用する材料の多様化も、技術開発のための一つの方法です。各種材料、特にプラスチック、金属、およびセラミックスの製品開発中での解析により、温度耐性と媒体耐性の向上、コスト削減を図っています。一例として、ポリマー接合の研究開発では、プラスチックを強固に接合して表面全体を被覆することを目指しています。その他、熱圧着接合分野や機能性セラミックスの直接集積分野についての研究開発も行っています。

当部門ではこれらの接合技法を使用して、電子素子や微小機械素子、光学素子をウエハレベルで集積し、生産量や強度などのプロセスパラメータの最適化を常に行っています。また、自動ボンディング処理装置と特性試験機器を含む、4~8インチウエハのウエハボンディング用の完全無菌クリーンルーム生産ラインなどの設備を所有しています。

ナノスケール効果

MEMSパッケージングへのナノ効果の利用のため、システムパッケージング部門では、PLD、PVD、およびエアロゾルジェットにより蒸着したナノスケールの中間層と多層システムの解析を行っています。PLDやPVDでは、金属、セラミックス、酸化物、有機材料や半導体材料などのナノ層や多層システムを広範囲に蒸着可能、エアロゾルジェットでは、金属ナノ粒子や誘電体インクを選択的に印刷出来、導電性パスや絶縁層、ボンディングフレーム、組み合わせ材料、積層体の形成が可能です。さらに、金属ナノ構造に基づく表面効果と材料効果の研究と特性試験も行っています。これらのナノ構造は、チップレベル/ウエハレベルでの新しい接合技法に応用されています。このような技術の利用により、システムへの温度影響を最小限に抑えながら、ウエハの気密性のある永久接合を目標にしています。

表面改質

基板の接合においては、表面加工が重要になります。ガラスペーストやエポキシなどの比較的厚い中間層を使用する場合、基板の表面粗さによる影響はあまりありませんが、中間層を使用しない場合、接合対象物間の原子レベルでの接触が、極めて重要になって来ます。直接接合や陽極接合技法では、表面粗さがRa < 1 nmである必要があります。また、化学機械研磨や特殊ガスのプラズマによる表面活性化などの前処理により、親水性または疎水性の平滑な表面を準備することが重要です。

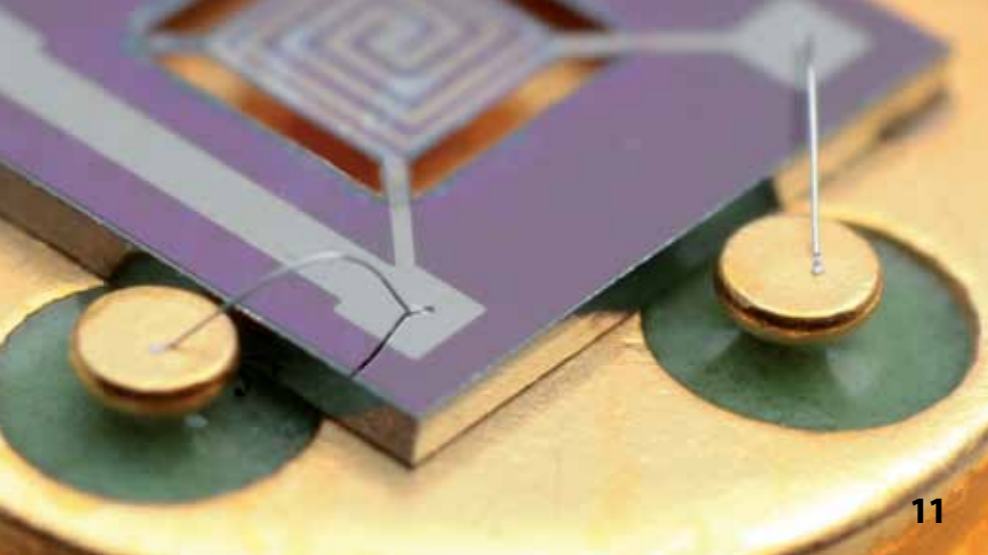
マイクロシステム技術の開発や3D集積の分野においては、CMP (化学機械研磨) が開発され、適用されています。構造体の寸法と間隔の極端なアスペクト比と使用材料の多様性は、現在のCMPの研究開発における最大の課題です。3D集積プロセス用に研究中のアルミニウム、銅、およびゲルマニウムのほか、シリコンと二酸化ケイ素もCMPで研磨可能です。これは、BiCMOS技術のデバイスに必要な埋め込みシリサイド層を持つSOI基板の製作時に重要になって来ます。

湿式化学によるウエハ前処理のほか、化学反応性プラズマ放電によっても、直接接合での接合強度を向上させることができます。この前処理は、広範囲にも局所点にも実施でき、わずか200℃の硬化温度で、高温接合同程度の安定接合を得ることが出来ます。このような、低温接合処理の前段階での表面活性化により、タンタル酸リチウムやシリコンのような、熱膨張係数が大幅に異なる新材料や異質材料を接合することができます。

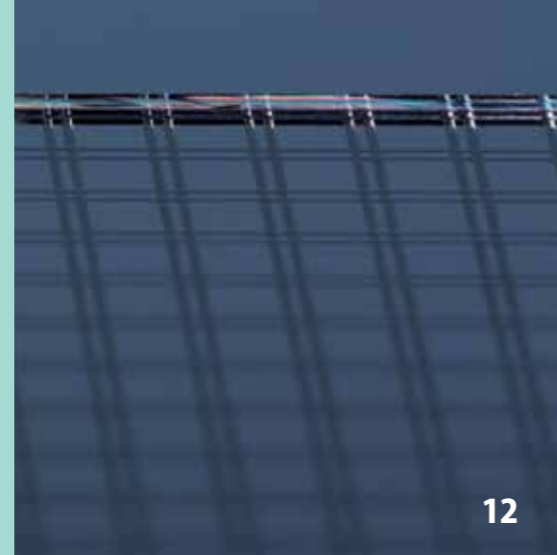
インプリント技術

数ナノメートルスケールの構造パターン転写は、最新技術であるナノインプリントリソグラフィで行います。この技術では、インプリントと紫外線硬化または熱硬化を利用しています。型を利用したエンボス加工またはインプリント加工によるマイクロ・ナノ構造形成により、光学構造または流体構造の精密加工が可能です。この技術は基本的に、熱間または冷間エンボス加工に区分され、ガラス、非焼結セラミックス、および熱可塑性材料などの熱間エンボス加工の場合、処理温度はこれらの材料のガラス転移温度より高くなります。システムパッケージング部門では、エンボス加工の開発の他、シリコン型 (必要により非粘着層加工も行います)、パターン形成されたフォトレジスト用型やソフト型、電気メッキによる鑄造ニッケル型 (UV-LIGA) の設計と生産も行っています。

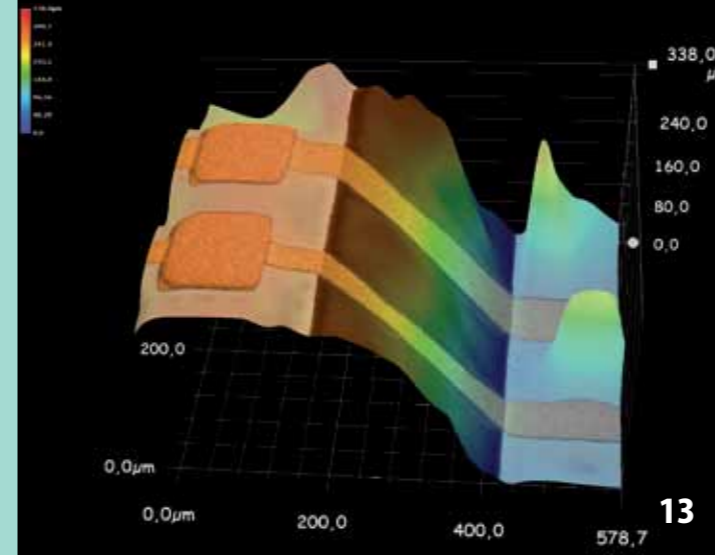
Fig. 6: マイクロエンボス加工によりサブミクロンパターン形成した表面
 Fig. 7: ナノインプリントリソグラフィによりサブミクロンパターン形成したレジスト
 Fig. 8: 埋め込みシリサイド層を持つ平坦化されたSOI基板
 Fig. 9: ウエハボンディングのためのナノスケールの反応性多層構造
 Fig. 10: ウエハボンディングのためのナノ表面パターンニング



11



12



13



14

エアロゾルジェット印刷およびスクリーン印刷

エアロゾルジェット印刷では、従来のマスクリソグラフィや薄膜プロセスを使用せずに、様々な基板に多種多様な材料の選択的印刷が可能です。このプロセスにより、有機材料、接着剤、および生物関連材料のほか、導電性材料や機能性材料も、10~300 μmの幅で印刷可能です。システムに組み込まれたレーザーにより蒸着したインクや粒子を直接焼結させ、電気配線の導電率や蒸着層特性を向上させることができます。また、アトマイザと蒸着ヘッドをそれぞれ2つ装備し、同じ基板上に2種類の異なる材料を印刷することが可能です。

ウエハボンディング用中間層の選択的パターンニングには、スクリーン印刷を使用しています。この技法では、ペースト状の各種材料を、フレキシブルなスクリーン上にコーティングします。ステンシルのワイヤの太さとメッシュサイズで決まるステンシルの開口、およびペーストの組成などのパラメータにより、スクリーン印刷での構造サイズは決定されます。現在、印刷可能な最小の形状サイズを研究中です。ウエハボンディング用のガラスフリットペーストの他、はんだペーストやセラミック系接着剤などの材料も、クリーンルーム条件下で最大250 mm × 250 mmの基板上に印刷できます。

チップボンディング

パッケージングレベル1では、チップボンディングを用いて、基板キャリア上またはパッケージ内に、作製済みのチップを組み立てます。この接合には、エポキシ、セラミック系接着剤、

ペーストなどの材料のほか、共晶はんだやその他のはんだ混合物も使われます。この従来の技法に加えて、反応性ボンディングと呼ばれる、内部熱を有効利用した室温でのチップボンディングも行います。この新しい技法は、主に感熱性微小機械センサーやアクチュエータシステムのプロトタイプセンサーの製造に応用されています。フラウンホーファーENASにおける各種装置を利用することにより、フリップチップ(FC)や表面実装型デバイス(SMD)など、すべての最新パッケージング技術を自在に適用させていきます。基板上の精密なX-Y調整を行いながら、チップを正確に配置し、高い集積レベルを達成することが出来ます。

特性試験

システムパッケージング部門では、技術開発だけではなく、パッケージング技術の特性試験と評価も行っています。フラウンホーファーENASの他部門との協力により、引張試験、圧縮試験、せん断試験、電気試験、耐候性試験、および温度試験を実施しています。特にウエハボンディングについては、赤外線、超音波、走査型電子顕微鏡(FIB(収束イオンビーム)、EDX(エネルギー分散X線分光)を含む)などの検査方法を採用し、電気的および機械的な接合品質、強度、ならびに気密性の観点から特性試験を行います。接合強度の評価には、Maszaraブレード試験、マイクロシェブロン試験、およびせん断試験を採用しています。接合したウエハやチップの気密性は、漏れ試験(ヘリウム、亜酸化窒素)により1 x 10⁻¹¹ mbar・l/sの分解能で特性を評価、または集積した共振器構造により電気的試験で評価します。

サービスおよび所有機器

システムパッケージング部門では、上記の研究テーマ全てについての標準的プロセスと関連機器を使い、産業界と研究所のお客様に、研究からプロトタイプ製作までの幅広いサービスを提供しています。顧客のニーズに合わせて、すべての技術とプロセスを選択/応用できることが特徴です。

フラウンホーファーENASでは、以下のサービスを提供しています。

- ▶ 研究開発の受託
- ▶ 資金提供研究プロジェクトおよびコンサルティング
- ▶ プロセス移転および技術移転
- ▶ パターン化した接合基板(顧客ごとに製作)
- ▶ 実現可能性および市場の調査
- ▶ セミナーおよびトレーニング
- ▶ 技術コンサルティング

また、これらのサービスのために以下の機器を所有しています。

- ▶ CMP IPEC 472
- ▶ クリーナSuss CL 200
- ▶ ボンドアライナSuss BA8およびEVG6200NT (NIL)
- ▶ 基板ボンダEVG 540、Suss SB 6、およびSuss SB 8
- ▶ スクリーン印刷機R29 SpectrumおよびMV 100
- ▶ エアロゾルジェットシステム300 CE
- ▶ スピンおよびスプレーコーター
- ▶ Creamet 600 S/PLD
- ▶ チップボンダTresky T-3002-FC3
- ▶ ワイヤボンダFEK delvotec 5450
- ▶ 高温管状炉Centrotherm
- ▶ プラズマおよびレーザーツール
- ▶ ウエハソーDisco DFD 6340
- ▶ 顕微鏡(可視光、赤外線、超音波、REM)
- ▶ マイクロシェブロン試験機
- ▶ Tira Test 2805(引張、せん断試験機)
- ▶ GOM Aramis光学測定分析器

Fig. 11: 赤外線エミッタのパッケージング (Siegert TFT GmbH社と共同開発)

Fig. 12: スクリーン印刷したガラスペースト構造

Fig. 13: 深さ300 μmのエッチングキャビティ全体にわたる導電ライン形成の解析

Fig. 14: ウエハボンディング用MHz超音波クリーニング

連絡先

フラウンホーファーENAS (エレクトロ・ナノシステム研究所)
システムパッケージング部門

Technologie-Campus 3
09126 Chemnitz
Germany

システムパッケージング部長

Dr. Maik Wiemer

Phone: +49 371 45001-160

Fax: +49 371 45001-333

Email: maik.wiemer@enas.fraunhofer.de

Internet: <http://www.enas.fraunhofer.de/EN>

写真:

表紙: ASICおよびMEMSの疑似一体集積化

写真:

フラウンホーファーENAS、Andreas Morschhauser