

ヘレウス株式会社 ノーブルライト事業部

Noblelight Discovery

Back Number: October 2011 No. 58, pp.6-9 | August 2016

タッチパネルやディスプレイなどで 成功を収めるオプティカルボンディング

By Larry Mazdzyń, Michael Rudolph

スマートフォン、タブレット PC、超薄型テレビ、ノートパソコン - こうした製品のおかげでオプティカルボンディングプロセスが一躍主役として脚光を浴びるようになった。かつては特殊なプロセスだったオプティカルボンディングプロセスだが、現在はほぼすべての人気の電子機器で不可欠な技術となっている。

保護ガラスやタッチパネルを液晶ディスプレイ (LCD) に接着するオプティカルボンディングは 10 年以上前から実用化されている技術だが、接着材料や接合プロセス技術の進歩によって近年に入ってから大きく成長した。オプティカルボンディングは特殊ディスプレイ市場から生まれ、主流の市場や用途に幅広く使われるようになった。ボンディング技術を用いて製造されるディスプレイのサイズは 2 インチから 82 インチまでと幅広い。さらに、ボンディングラインの厚さはプロセスによって 50 μm から 5 mm までである。接着剤の耐性と光学性能についても、新しいボンディングプロセスとの互換性とともに進歩している。ディスプレイベースの機器が新しく開発されたことで、構造的統一性、設計の柔軟性、機能的・美的特性などのオプティカルボンディングの付随的利点も認知されている。

オプティカルボンディングを用いたディスプレイやタッチパネルに関する生産量の統計はないが、その成長には

明確な証拠がある。事例をもとにしたマーケット情報によれば、液体接着剤ベースの自動貼り合わせ装置は 2011 年には設置ベースで 100 システムを超える数が販売されたという。スマートフォンやタブレット PC、超薄型テレビ、ノートパソコン、大型 3D ディスプレイなど、投影型 (pro-cap) ディスプレイを搭載した機器は、すべてオプティカルボンディングの美的特性や機能的性能の恩恵を受けている。

接合の基礎

オプティカルボンディング工程の文字通り中心は透明な接着剤であり、光学的透過性が必要な複数の板を貼り合わせている。例えば、タッチセンサーパネルやカバー基板などの層 (ガラス、タッチセンサー、その他機能性材料) とディスプレイを貼り合わせている。接着剤は接着する両方の板の表面全体に均一に塗布される。接着剤には、時間が経つと硬化する液体のものや、硬化の必要のない固体または半固体の光学テープなどがある。接着材料が何であれ、材料によって異なる屈折率の差によって生じる反射を軽減するか、またはなくして光学性能を高めるには、屈折率を一致させるのが一般的である。

業界で代替的に利用されている工程と、オプティカルボンディングとは区別すべきである。技術的にはオプティカルボンディングとは考えられていないが、このプロセス

には通常、ディスプレイと保護カバー板やタッチパネルの間の空隙を維持する工程がある。接着テープまたはガasket材料がディスプレイの外周部に用いられて、カバー基板はディスプレイの上に浮くような形になり、カバーとディスプレイの間の空隙ができる。場合によっては、カバー基板をディスプレイの上に固定するのに別の方法が利用されることもあるが、一般的ではない。空隙のあるような設計では光学性能が下がることもある。反射防止コーティングがない場合には、構造内のカバー基板表面から光が目に向かって反射し、ディスプレイの实质輝度や明暗比が損なわれる。

工程の細部

最適なディスプレイ性能を備える高品質の組立を実現するには、各工程の細部にわたって入念な注意を払うことが必須である（図 1）。

新世代デバイスの多くは、オプティカルボンディングプロセスに特有の高い光学性能や耐久性、設計の柔軟さなどの長所を享受している。スマートフォンの人気から、消費者がオプティカルボンディングの投影型ディスプレイを好むことが分かる。現在では、オプティカルボンディングプロセスはタッチパネル有無にかかわらず、より大きなサイズの画面 などにも採用され、アプリケーションは医療機器、POS 端末、GPS システム、産業用制御システム、タブレット PC などに広がっている。

次にオプティカルボンディングプロセスのおもな手順を示す。メーカーが注意すべき詳細な点もあわせて記す。

材料の選択：液体オプティカルボンディング材料は幅広く存在するが、そのすべてが LCD に直接基板を接着するのに適しているわけではない。この用途には、アクリル系、シリコン系材料がもっとも利用されている。エポキシ系材料は、必要とされる機械的性質が不足しており、2 液性であることが製造環境で非常に使いにくい。通常使われていない。ウレタン系もその機械的性質と経年変化で黄変する傾向があることで利用されていない。アクリル系では様々な硬化方法があるが、最も広く使われているのは UV 硬化型である。シリコン系接着材料は熱、紫外線 (UV) または湿気硬化が可能であり、それぞれに長所があるが、

熱硬化型がもっとも一般的である。

材料の準備：オプティカルボンディングプロセスの全体的品質と組立品の長期間性能を確保するには、搬入される材料の準備を適切に行う必要がある。ディスプレイの品質に悪影響を与える異物を取り除くには、次に示す業界的に認められたクリーンルームが不可欠である。通常、ボンディング作業は ISO クラス 1,000 以上のクリーンルームで行われる。タッチパネル、ディスプレイおよびカバー材料は受入品質検査を受け、その後完全に洗浄されクリーンルームで適切なパッケージに梱包される。ディスプレイなどの部品を高温でプリコンディショニングすることで封入されている湿気を取り除くこともできる。接着剤はメーカー仕様通りに取り扱い、オリジナルの梱包のまま保存する。液体接着剤は調剤前・中に濾過する。また液体接着剤は溶解ガスや揮発性成分を含有することがあるので、通常、調剤前にガス抜き工程が入る。

接着剤の塗布：大部分の用途では、接着剤の表面塗布工程には自動システムが導入されている。液体性接着剤を使うシステムでは、用途やディスプレイサイズによってさまざまな接着剤塗布方法が利用されている。その方法には、単一または複数のノズルを使用して塗布する方法など、さまざまなコーティング工程がある。

所望の結果を得るには、接着剤をパターンや量を含めて正確にコーティングすることが決定的に重要である（図 2）。場合によっては、別途、粘度の高い接着材料を用いてカバー基板の支持構造を作ったり、接着剤の位置や流動性を制御したりすることがある（図 3）。

ボンディング：液体接着剤で貼り合わせる方法はいろいろあり、大気圧中で行う方法、真空中での方法がある。カバーをディスプレイやタッチパネルの上に正確に乗せる作業や接着剤の流動性を正確に制御する作業は人手が自動制御のどちらかで行われており、その結果、貼り合わせのギャップが一貫して均一になる。接着剤をカバーに塗布し、カバー素材を対になる貼り合わせ面に下げて乗せる方法も開発されている。より多くの機器や用途に対応できるように、さまざまな自動化と人手のボンディングプロセスが開発されている。大気圧下での貼り合わせ装置も真空貼り合

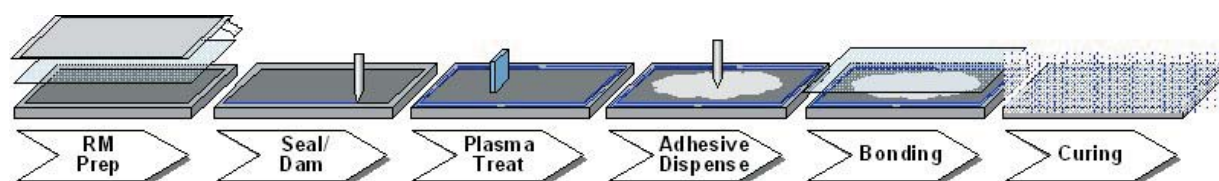


図 1: 液体接着剤を用いるオプティカルボンディングプロセスの重要部分、材料の準備 (左) から硬化 (右) までである。

わせ装置も同じくらい高い品質を達成している。メーカーが選ぶ装置の種類は、大部分はメーカーの好みや、工場側のニーズやディスプレイの用途によって決まってくる。貼り合わせ面を正確に置けるように、機械的・光学的位置決めシステムが開発されている。位置決め精度がどの程度まで必要かは、最終用途の要件による。装置の費用と難易度は位置決め精度に比例する。中には、X軸Y軸とも $\pm 5 \mu\text{m}$ の精度で位置決めできるオプティカルボンディングシステムもあるが、ほとんどの用途ではこれほどの精度は必要とされない。むしろ、多くの用途では $\pm 100 \mu\text{m}$ 以上の精度しか必要ない。同様に、Z軸（厚さ）の精度も、小型のモバイル機器から大型テレビまで、サイズによって異なる幅広い貼り合わせギャップにおいて高精度を実現している。

硬化： オプティカルボンディングプロセスの最後は、接着剤の硬化かまたは架橋貼り合わせである（図4）。架橋張り合わせは、接着剤の低分子成分が反応して結合し合い、より複雑な高分子に変化する化学反応で、これにより所望の接着特性や機械的特性が得られる。この硬化反応はUV、熱または湿気によって進行する。硬化は化学反応なので、温度、時間、反応種の濃度など、反応の動力学パラメータに強く影響される。またUV硬化の場合は、光の照度、スペクトル成分およびエネルギー照射量などに支配される。

UV硬化方式のシステムには、全自動化できることと総組立サイクル時間（TACT：タクト）が非常に短くなるという利点がある。ただ、UVを透過しない不透過部分があるデザインの場合は特別なプロセスが必要になることがある。プロセスに関する専門知識と適切なボンディング技法によってこうした問題を解決できる。UV硬化では問題がある材料も、他の硬化方法では使えることもある。そうした材料は硬化が完了するのに時間がかかり、結果的に総組立サイクル時間が延びることが多い。熱硬化では、接着剤がゲル化したり、硬化不足にならないよう、保管に十分な注意を払わなければならない。

接着特性の考慮

オプティカルボンディングプロセスにおいては、光学特性の次に、機械的特性を重要項目として考えなければならない。接着剤をLCDに使う場合、材料特性の違いが最終用途の特性に大きな影響を与えることがある。密着性・粘着性、引っ張り強さ、接着材料の硬度などはすべて重要であり、ディスプレイの性能に大きな影響を与える。引っ張り強さと密着性は製造されたディスプレイの耐久度と堅牢性を決める。耐衝撃性や耐引っかき性は接着剤よりもカバー基板の機能だが、オプティカルボンディング材料の硬度は衝撃吸収力にある程度影響を与えるので、ディスプレイの耐衝撃性にも関係すると一般に理解されている。

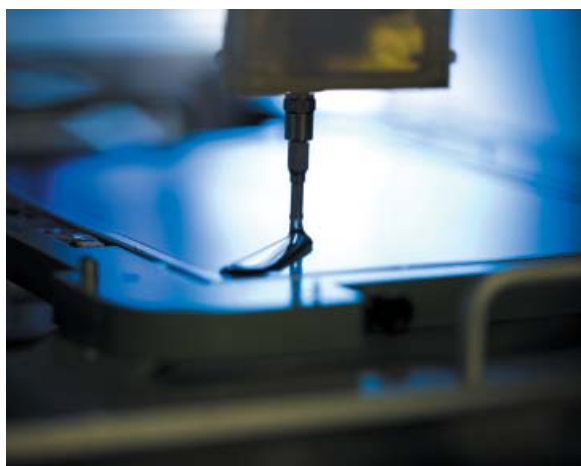


図2：塗布のパターンや質は貼り合わせ品質において決定的に重要である。

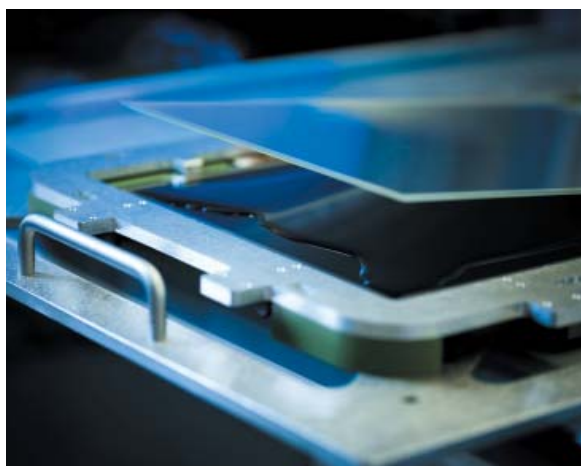


図3：手作業でのガラス配置では固定具を利用している。貼り合わせにおいて、ガラスの配置と接着剤の流れは手動でも自動でも重要である。

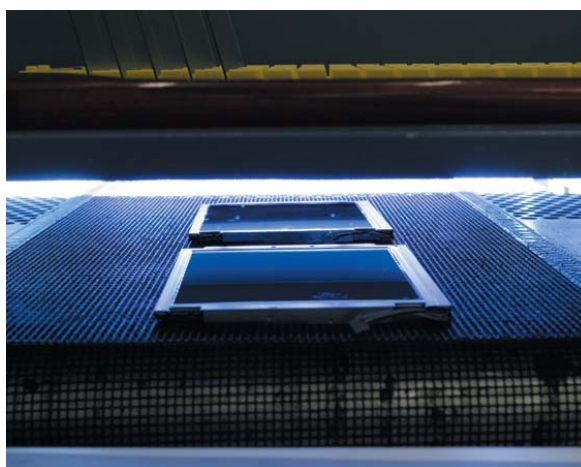


図4：硬化パラメータにはスペクトル条件、照度、エネルギー量などがあり、適切な接着性能を得るにはこれらを最適化しなければならない。

硬度と引っ張り特性もグロウマークや滞留などの圧力誘起の欠陥に影響を与え、外力で液晶の光路長が変わったときに画像の変色として表れることがある。適切に作られた接着剤であれば、こうした影響に加えて、ディスプレイの端からバックライトの光漏れなどを抑えたり取り除いたりすることができる。

さらに、液体接着剤は粘度が幅広く、接着剤の粘度は塗布特性、流動性（濡れ性）、ガス抜き特性など、ボンディングプロセスのパラメータに関係する。これらは工程全体の TACT（タクト）や品質、使いやすさなどに影響を与える。

真空貼り合わせ装置では、接着剤とディスプレイの双方で、上記とはまた別の要件が加わる。低圧環境下では、接着剤によっては成分の一部が揮発し、そのため気泡や飛散、貼り合わせ中の重量減少などが発生し、貼り合わせ品質や総体的な製造可能性に悪影響を与える。UV 硬化型接着剤の光開始剤のスペクトルマッチングを、光源に合わせて調整することも、硬化を上手く成功させるには不可欠である。

製品設計のポイント

当然ながら、オプティカルボンディングされたディスプレイを組み込んだ製品の設計も考慮しなければならない。例えば、製品によっては、その構造的品質が貼り合わされたディスプレイの強度に依存する場合もある。オプティカルボンディングされたディスプレイはデバイスの構造の中核を担う部品となる。加えて、一部のスマートフォンやタブレット PC のようなベゼル（周囲の枠）の見えない構造は、投影型タッチパネルにカバーガラスをオプティカルボンディングする方法でしか作れない。このようなデザインの自由度はオプティカルボンディングがなければ不可能である。

こうした製品の性質から考えなければならないもうひとつの重要な点が、作り直しや修理の必要性である。壊れないものというのは存在せず、消費者向け電子機器は落としたり壊れやすい場所に置き忘れたりすることがよくある。製品が壊れた場合に、オプティカルボンディングされたディスプレイを簡単に外して、掃除して交換できるかどうかは接着剤の性質によって決まる。他の要素も貼り合わされたディスプレイの「再加工性」に関わってくる。例えば基板間の接着層の厚さ、ディスプレイサイズ、ディスプレイがデバイスの構造的品質に果たす役割の大きさなどである。最近では再加工技術が飛躍的に発展し、修理成功率が 95% 近くにまで上がっている。保証修理や保守関連費用の削減がこうした改善の大きな原動力になっているが、再加工工程が合理化されれば製造歩留も上がる可能性がある。

製品のデザインでカバー基板をタッチパネルの上に貼り合わせることが求められた場合、新たな課題が生まれる。タッチパネルの性能は当然第一に考えなければならないが、接着層は絶縁層となって投影型タッチパネルに静電容量の電界が投影されるのを妨げる可能性がある。そのため、接着剤の性質や最終製品での接着層の厚さ、基板表面の平滑性などがタッチパネルの性能を決定する要因となる。接着剤の引っ張り強さや構造的限界を理解することも、耐久力のある強靱な機構を作るのに非常に重要である。究極的には、複雑な三次元射出成形カバー基板もタッチパネルやディスプレイに貼り合わせできるようになるだろうが、ある程度のレベルの専門知識や材料・工程の理解が必要となる。

すべて統合された現在

オプティカルボンディングはこの数年間に変革があり、採用や市場での需要が飛躍的に増えた。接着剤や基板などの材料の幅広さや、自動貼り合わせ工程技術の革新や高度化が、今までオプティカルボンディングのディスプレイやタッチパネルを使っていなかった新しい用途や新たなタイプの製品の市場において、オプティカルボンディングの成長に拍車をかけている。

記事執筆者：

Larry Mozdryn 氏；
Chief Technology Officer of Ocular LCD, Inc.
lmozdryn@ocularlcd.com

Michael Rudolph 氏；
Global Technology Manager of DuPont Display Enhancements.
michael.l.rudolph@usa.dupont.com

Information DISPLAY, May/June 2011 より許可転載
Society For Information Display 【SID】発行
www.informationdisplay.org

Noblelight Discovery (旧 Fusion JAPAN NEWS) No 58, October 2011, pp.6-9 より抜粋

ヘレウス株式会社
ノーブルライト事業部

〒112-0012
東京都文京区大塚2-9-3
住友不動産音羽ビル2F
Tel: (03)6902-6600
Fax: (03)6902-6625
uvp.hkk@heraeus.com
www.heraeus.co.jp