

技術報告

薄型テレビ LCD 普及の陰にレーザ微細加工あり

若林 浩次

There Is Secretly Laser Micro Processing behind the LCD TV Spread

WAKABAYASHI Koji

トルンプ(株) (〒226-0006 横浜市緑区白山1-18-2)
koji.wakabayashi@jp.trumpf.com

(原稿受付 2009年9月25日)

The laser repair history for LCD (Liquid Crystal Display) in the past 20 years is described in detail from the experience. Mainly TFT (Thin-Film Transistor) repair which is the most important technology and it means the process and also equipment, is described regarding the birth, turning point, following the liquid crystal generation, growth routes and reformation technologies. The key of today's LCD TV spread is the repair technology that uses the laser and micro processing.

Key words: LCD, TFT, color filter, laser, repair, CVD

1. 背 景

今やテレビといえば薄型テレビ、中でもその代表格ともいえる液晶テレビを知らない人は日本広しといえどもまざいるまい。だが、このテレビがここまで普及できた陰にリペアというレーザ微細加工の技術があることを知る人はその仕事に携わるほんの一部に過ぎない。長年レーザを研究、開発、製造していく中、自宅に置いてある液晶テレビにレーザ微細加工が施されていることを認識しながらご覧になっているかどうか知る術もないことである。実は今流行の30から60インチ液晶テレビが旧来のブラウン管テレビ、いわゆるCRT(Cathode Ray Tube)に置き換わるためには、リペアと呼ばれるレーザ微細加工により、生産の歩留まりを向上させる工程が不可欠であったのだ。確かに消費者価格低下に大きく貢献したガラス基板の大型化、いわゆる世代上昇は、第7世代から第8世代までにおいては、その面積に反比例して生産コスト低減に寄与したことは疑いの余地もないことだが、同時に面積に比例してガラス面上に形成される微小デバイスの欠陥を増やしていくこともまぎれもない事実である。昨今の太陽電池、いわゆるPV(Photovoltaic)フィーバーを目の当たりにした筆者が、かつて1988年から2006年までは確かに薄型テレビ、いわゆるLCD(Liquid Crystal Display)を日本が牽引してきた事実と軌跡を整理しておきたい。第1世代から15年間以上レーザリペアの加工技術と装置開発に携わってきたからこそその多少の秘話も含め記録に残しておきたい。

2. レーザリペア

2.1 リペアの誕生

レーザリペアは加工の意味でも装置の意味でも使われる。リペアとはそもそも遡ること30年前頃、1980年頃半導体を露光する時に原版となるCrフォトマスクのCr薄膜がパターンからはみ出た部分、いわゆる黒欠陥を除去する

こととCr薄膜が欠落した部分、いわゆる白欠陥の穴埋めを行うサブ μm オーダーの加工であり装置であった。フォトマスクは半導体の印刷メーカー或はガラスマスクで製造され、価格は安くても一枚数百万円から高いものは数千万円するので、真空チャンバ付きのリペアは当時数億円という大変高価であった。レーザはnsパルス幅、mJエネルギー程度のポックルスQスイッチパルス方式を搭載した装置だが、国内はもとより海外にも正に飛ぶように売れたのである。当時フォトマスクをレーザでリペアするなどという大胆かつ挑戦的な考えを持ったのは、いかにも品質改善、歩留まり向上心を持ち続けていた繊細な日本人ならではといえる。

2.2 リペアの転機

このフォトマスクリペアが液晶に転用されたのは、25年前頃、1985年頃の半導体フォトマスクから液晶フォトマスクへの転用であった。つまり、リペアは相変わらずフォトマスクをリペアする用途のみであり、しかも要求精度が一桁低い従来のリペアという概念から、この時点では全く逸脱していなかったのである。しかし、3年後頃に液晶フォトマスクという原版をリペアすることから、液晶テレビのデバイスそのものを直接リペアするという転機が訪れる事になる。それは、液晶のそれまでがSTN(Super-Twisted Nematic)やTN(Twisted Nematic)といったパッシブな正負の単純な透明電極による駆動であったのに対して、薄膜トランジスタTFT(Thin-Film Transistor)を搭載したアクティブマトリックスの実用化に成功したことによる。ご多分に漏れず、薄膜トランジスタの液晶駆動への発明は米国であったのだが、これを液晶テレビへ量産ベースで具現化させたのは他ならぬ日本である。ガラス上にトランジスタを形成するためには、当時の半導体技術の転用が必要であったことはもとより、当時より、5枚の液晶フォトマスクを使用する工程からフォトマスクの欠陥以上に各工程における現物上の欠陥への対応に液晶各社は迫られたのである。こ

こで初めて TFT 基板とカラーフィルタ CF 基板を直接レーザでリペアする手法が取り込まれた 1988 年頃、液晶第 1 世代の夜明けを迎えたのだ。

2.3 液晶世代へのリペアの追隨

液晶第 1 世代は 300 mm × 400 mm ガラスサイズから始まる。しかし、ガラス 1 枚から取れる映像サイズは縦横比 3 対 4 では 14 インチが精々最大であり、当時 CRT の主流となっていた 20 インチ前半には遠く及ばなかった。したがい、「サブローシロー」で慣れ親しまれた第 2 世代 360 mm × 460mm, 20 インチ、第 3 世代 550 mm × 660 mm, 30 インチへと拡大路線を図る以外液晶テレビの普及のために他に取るべき道はなかったのである。当時この世代上昇は 2 年間隔で現れ、半導体のシリコンサイクルとよく対比され、クリスタルサイクルともてはやされた。1995 年前後のことである。世代の上昇は同時に同じサイズであれば面取り数を倍増化できる利点があり、コスト低減に大きく貢献した。また、世界中の誰しもが第 5 世代、1100 mm × 1250 mm 以上には大型化する見込みはないと考えていたのである。そして現在 2009 年第 10 世代、2850 mm × 3850 mm にまで大面積化することを予想できた技術者はまずいない。リペアは数 μm 角のレーザ微細加工そのものであるにも係わらず、装置という器全体はバス並み、重量は戦車並みにも重量化、大型化したのであるから。

2.4 リペアの成長路線

リペアという行為は欠陥の発生を前提としており、日本における製造技術の歩留まり改善を御旗に上げる技術者にはなかなか受け入れられなかつた。なぜなら、リペアを使用しなくて済むよう製造工程をまず改善することが正義であり、リペアはなくて済ませるべき悪者という考え方方が日本のどの液晶メーカのトップマネジメントにも既成概念が植えつけられていたからである。しかし、後発であり 2 番手と 3 番手であった韓国と台湾液晶メーカは考えを大きく異にしていた。1 番手である日本に追い付き、追い越すためにはまず品質とか歩留まりを後回しにし、日本以上に大量生産し、片端からリペアで良品化することでより安い価格を早く提供し、競争優位に立つ戦略に打って出たのである。第 4 世代から第 5 世代にかけての 1996 年頃である。そのため、リペアをゲート工程、ソース／ドレン工程、最終絶縁膜工程の 3 工程にそれぞれ配置し、その工程ごとにリペアを施して、工程内全体でリペアの歩留まりを改善するという新しい概念をいち早く取り入れた。1997 年頃から日本は韓国勢に追い抜かれ、さらに後発の台湾勢にも追い抜かれる破目となつた。さらに、追い討ちをかけるかのように、これら TFT 工程の後工程であるパネル工程、次いでモジュール工程においてもそれぞれ専用のリペアを配置する周到ぶりであった。思い起こせば、LCD でも以前の半導体 DRAM で日本がこれらの国々に次から次へと追い抜かれて行った歴史をまた繰り返したに他ならない。PV も日本は 2006 年までは世界をリードしてきたが、今やドイツ、スペイン、中国にことごとく追い抜かれている事実も現在見逃すことができない。

2.5 リペアの革新技術

第 5 世代から化学気相成長 CVD(Chemical Vapor Deposition)とレーザを組み合わせ L-CVD と呼ばれるリペアを大気中で行える新たな技術が登場した。基本的には熱反応により CVD を行っているが、最初の種 CVD は光反応を利用している。ガスカーテンと呼ばれる技術で L-CVD 箔所を完全に外気からシャットアウトしている点が最大の特徴である。昨今これと似たまがい物が海外で出回っており、個人的にはなはだ遺憾である。この技術革新により TFT 周りの配線をリペアするだけでなく、絶縁された配線を大気中で枚葉式で配線膜を堆積させることができた。後発であらかじめ銀をペーストしてレーザで焼き締める手法や LITI(Laser Induced Thermal Injection)とよばれるガラスに蒸着した薄膜金属をレーザで転写する手法が登場したが、最終的には L-CVD が絶縁と短絡欠陥のリペア技術として生き残ったと言えよう。時は既に 2007 年頃を迎えていた。

2.6 その他のリペア技術

今まで TFT リペアを主体に説明してきたが、ご承知の通り LCD には TFT 基板と対向する CF 基板があり、RGB の 3 原色が縦横マトリックス配置されている。当然であるが、こちら側にも欠陥が存在し、レーザでリペアできた。主に突起に対してはそぎ落とし RGB インク液体を補充してレーザで硬化させ、逆にピンホールに対してはその周辺を含めてレーザで一端除去し、その上でやはり RGB インク液体を滴下して同じように硬化させたのである。YAG パルスレーザの第 3 高調波を使用すれば、RGB の 3 原色によるリペア条件の差異は緩和できた。

また、最近では TFT の配線や CF の色素を直接リペアするのではなく、それらの薄膜を現像するレジスト膜を露光した時点でのレジスト膜自身をリペアする一工程前のリペア技術が確立された。少しでも前の工程にリペアを配置することで歩留まり向上と従来のリペアを並行稼動させることでリペア確率を改善させることができた。

3. まとめ

LCD におけるレーザ加工では ArF エキシマレーザによる露光と XeCl エキシマレーザによるアニーリングが頻繁に取りざたされるが、今日の LCD 薄型テレビ普及の陰の立役者はレーザを用いたリペア技術である。消費者価格が CRT 並みになり、特に世界の先進国、新興国においてこれだけ普及したのもリペアというレーザを駆使した技術を抜きにして語ることはできない。技術開発の側面から見れば明らかに成熟期に入りつつあるといえるが、後進国も含めたさらなる普及、放送のデジタル化、コンピューティング機能を取り込む IT 化などを進める上で、今後 LCD の果たすべき役割は非常に大きいし、いまだ普及に留まることを知らないはずだ。日本固有の装置であったリペアが今では韓国、台湾、中国でも生産され、ますます国際価格競争の荒波に飲み込まれているが、元々日本のお家芸ともいえるレーザリペアにエールを送る。