液晶表示パネル上への LSI チップ実装技術の開発*

府山 盛明**・中野 文雄**・曾我太佐男**
森尻 誠**・舟生 征夫**・布川 功**

(昭和62年3月4日受理)

Development of LSI Chip Mounting Technology for Liquid Crystal Display Panels

Moriaki FUYAMA, Fumio NAKANO, Tasao SOGA,
Makoto MORIJIRI, Masao FUNYUU and Isao NUNOKAWA

(Hitachi Research Lab., Hitachi Ltd., Omika, Kujimachi, Hitachi)

(Received March 4, 1987)

Mounting technologies with high reliability were investigated for flip chip bonding of LSI chips on glass substrate in chip on type liquid crystal displays.

For metallic film conductor on glass substrate, four layered structure of Cr-Ni-Cu-Cr was found to be the best combination. Best selective etching solution for each metal was found and metal thicknesses were optimized.

For protection material of metallic film, sputtered SiO₂ film was chosen because of good reliability in operating life test. In order to obtain highly reliable LSI chips under thermal shock test condition, the thermal expansion coefficient of covering epoxy resin was taken to be nearly equal to that of 95Pb-5Sn solder by controlling amount of added Si powder.

1. 結 言

液晶表示素子は、電卓や時計の表示部に利用されており、さらにテレビ、OA 端末ディスプレイ等の高機能表示素子への応用が展開されている。このような高機能化に伴って、駆動回路と液晶パネルとの接続端子数が急激に増大し、端子密度が高くなり、信頼性の高い接続技術が必要となってきた。その最も有効な手段が駆動用 LSI チップを液晶表示素子 (Liquid Crystal Display, LCD) 上に実装する、いわゆるチップオン液晶表示素子 (チップオン LCD) である¹⁻³⁾。

本研究は、LSI チップの実装法として、特に実装スペースが小さく、小型化、省スペース化に有利なフリップチップ実装^{4,5)}を取り上げ、高度の信頼性が要求される上、省スペースに対する要求が強い自動車のダッシュボ

ード用 LCD を対象とするチップオン LCD の開発に関するものである。このチップオン LCD を実現するための、金属膜 (配線) 材料の選定、形成技術、LSI 接続技術及び被覆樹脂組成について検討を進め、各種信頼性についても評価した。その結果、チップオン LCD の実装技術を固めることができた。既に、信頼性の一部は報告^{6,7)}したが、本報告はこれらも含めて総括するものである。

2. 自動車用チップオン LCD の構成

自動車用チップオン LCD の概略及び LSI チップ実装部の断面の概略を Fig. 1 に示す。このような液晶パネル 3 個 (表示部はことなる) が 1 組になって、自動車用表示部が構成される。各々の液晶パネルに駆動用 LSI チップをそれぞれ 2~4 個実装するものである。

LSI チップをガラス基板上に直接搭載するための金属膜 (配線) としては、(1)ガラス及び透明導電膜 (In₂O₃

* 昭和61年11月13日第27回真空に関する連合講演会で発表

** 株式会社日立製作所日立研究所

Fig. 1 Structure of chip on glass LCD.

膜)に対して密着性が良いこと、(2) LSI チップを接続するためにはんだに対するぬれ性が良いこと、(3)接続時に端子部以外の金属配線部分にはんだが流れるのを防止できる構造であることが要求される。

LSI チップを被覆する樹脂は、接続後の LSI チップを保護すると同時にはんだ接続部を湿度から防ぐことが要求される。しかし、樹脂は一般に熱膨張係数が Si やガラス基板より大きいことから、はんだ接続の熱疲労を加速し、信頼性の低下を招くと考えられる。従って、被覆樹脂としては防湿効果が大きいだけでなく、温度サイクル特性を少なくとも被覆する前のレベルより低下させない様な樹脂組成、被覆技術が要求される。

LSI チップを接続する方法としては、液晶パネルに液晶材料を封入後に行うため、液晶材料にできるだけ熱履歴を与えないような方法が要求される。

そこで、上記要求を満足するための金属膜構成、エッチング技術、被覆樹脂組成及び接続技術が必要となる。

3. 実験方法

3.1 基板、金属膜形成方法及びエッチング方法

基板としては、厚さ1.1 mm のソーダガラス上に二酸化ケイ素 (SiO_2) を $0.1 \mu\text{m}$ 形成したものを用いた。これらの基板は中性洗済によってもみ洗いし、ついでイソプロピルアルコール及びトリクレンの煮沸超音波洗浄した後、実験に供した。

Cr, Ni 及び Cu の蒸発原料は全て純度 4 N 以上を用い、金属膜は電子ビーム蒸着装置及び抵抗加熱蒸着装置を用いて形成した。また、NiCr 合金層はあらかじめ Ni 及び Cr 粉末 (−200 mesh) を 1:1 (wt%) の割合で混合したものをを用い、抵抗加熱蒸着装置を用いて形成し

た。また、Cr-Cu-Cr 3 層膜、Cr-Ni-Cu-Cr 4 層膜などの多層膜は全て同一蒸着装置内で連続蒸着した。蒸着時の真空度は $1.3 \times 10^{-3} \text{ Pa}$ 以下、基板温度は 200°C であり、膜厚は水晶振子による膜厚計でコントロールした。

各種金属膜 (単層膜) のエッチング速度は、ガラス基板上に形成した金属膜にホットレジスト (OMR-83, 東京応化工業製) を形成し、一定時間エッチングした後の段差を表面アラサ計 (Talystep, Rank Taylor Hobson 社製) を用いて測定し、時間に対するエッチング深さから算出した。また、金属多層膜のエッチングは、ホトマスクを用いてレジストパターン (線幅, 線間隔 $16 \mu\text{m}$) を形成した後、順次上層からエッチングし、その選択エッチング性を調べた。

3.2 信頼性評価用試料、接続法及び樹脂組成

各種信頼性評価用試料としては、ガラス基板 ($22 \times 30 \times 1.0 \text{ t}$) 上に LSI チップをフリップチップ実装したものを用いた。Fig. 2 は、フリップチップ実装し、樹脂被覆した試料の断面、接合部構成、LSI チップ上の端子配置を示したものである。LSI チップのはんだバンプ配置は、Fig. 2 の右上に示すように、(a) 一列配置 (Type A: Straight) と千鳥配置 (Type B: Zig zag) の 2 種類であり、それぞれ隣接したバンプ間を Al 導体で接続し、ガラス基板上の金属配線を介して接続され、接続部の断線をチェックできる様になっている。したがって、ガラス基板上には、あらかじめ LSI チップと同じ端子構造を有する金属配線が形成してある。LSI チップのはんだ組成は Pb-5 wt% Sn を用いた。

LSI チップの接続は、ガラス基板上に形成された金属配線の接続端子部にロジン系フラックスを塗布後、顕微鏡を用いて LSI チップのバンプを位置合せし、仮固定した後、赤外線ラインヒータ (R. I. Controls 社製 5193 型 1 kW) を用いた局部加熱方式を採用した。Fig. 3 に試作した接続装置の概略を示す。接続条件としては、ランプ電圧により、Fig. 4 に示すような予備加熱 180°C 、本加熱 350°C という温度プロファイルを採用した。この予備加熱工程を加えることにより、ガラス基板の割れ及び接続端子部のガラスクラックを防止する対策をとっている。また、Fig. 3 に示すように LSI チップ以外は直接照射されないように遮へい板を設け、かつ液晶に熱履歴が加わらないように、パネルの端部は冷却する構造にしている。また、LSI チップを接続した後、トリクレンを用いて LSI チップのまわりのフラックスを除去した。

被覆樹脂としては、ポリブタジエン配合エポキシ樹脂を基本組成 [エポキシ樹脂 (エピコート 828) 100 部、硬

Fig. 2 Test sample configuration of chip on glass device.

Fig. 3 Bonding apparatus.

Fig. 4 Temperature profile for bonding.

化剤（ジアンジアミド）10部，硬化促進剤（イミダゾール誘導体 2P4 MHZ）5部，カップリング剤（A-187）2部〕として，この基本組成の熱膨張係数 α を変化させるためにファイラー（溶融シリカ粉 EMC-Y40）及び内部応力緩和のためのポリブタジエン（CTBN 1300×13）の添加量を変えた樹脂を作製した．また，被覆方法は，まず LSI チップとガラス基板との間隙に樹脂を充填し，その後，LSI チップ上面に平坦な被覆を作るように塗布し，大気中で120°C，120分の硬化をした．

3.3 信頼性評価試験及び応力解析

チップオン LCD の信頼性試験条件及び目標値を Table 1 に示す．なお，各種信頼性試験に用いた試料は 3.2 節で述べた LSI チップを実装したもの以外に，ガラ

Table 1 Reliability test condition

Test item	Condition	Target value
High temperature storage	95°C	> 500 hrs
High temperature and high humidity storage	70°C/95%Rh	> 1000 hrs
Thermal shock	-30°C ↔ 85°C (2h) (2h)	> 1000 cycles
Life test	70°C/95%Rh DC 9V	> 250 hrs

Table 2 Characteristics of metallic films

Metallic film	Deposition method	Degree of difficulty	Photoetching property	Reliability test result***
Cr-Cu-Cr 0.1 2.0 0.1 mm	EB*	Easu	○	Peeling off (at 200~300 hrs)
Cr-CrCu-Cu-Cr 0.1 0.3 2.0 0.1	RH**	Difficult	△	No peeling off
NiCr-Cu-Cr 0.1 2.0 0.1	RH	Easy	△	No peeling off
Cr-Ni-Cu-Cr 0.1 0.2 2.0 0.1	EB	Easy	○	No peeling off

* Electron beam evaporation

** Resistive heating evaporation

***Test condition: 70°C 95%RH, 1000 hrs

○: Good

△: Poor

Table 3 Etching solution of metallic films

Metallic film	Composition of etching solution	
Cr NiCr	K ₃ Fe(CN) ₆	73 g
	NaOH	23 g
	H ₂ O	380 g
Cu	NH ₄ S ₂ O ₈	90 g
	NH ₄ Cl	6 g
	H ₂ O	1000 g
Ni	CH ₃ COOH	5 vol%
	HNO ₃	3
	H ₂ SO ₄	1
	H ₃ PO ₄	1
SiO ₂	HF	1 vol%
	NH ₄ F	6

Fig. 5 Photograph of peeling off result in Cr-Cu-Cr metallic film (Test condition: 70°C/95%RH).

ス基板上に金属配線を形成したものについても同時に進めた。

LSI チップをフリップチップ実装した後ののはんだ接合部近傍の温度変化による応力あるいはひずみを有限要素法を用いて解析した。樹脂被覆なしの場合と樹脂被覆した場合について比較した。

4. 実験結果及び考察

4.1 金属膜構成及び形成技術

ガラス基板上に形成する金属膜としては、2章で述べたような特性が要求され、これらを満足する金属膜として本研究では4種類を取り上げ、諸特性について検討した。

その結果を Table 2 に示す。研究当初、金属膜としては Cr-Cu-Cr 3 層膜を選定した。3 層膜の内、下層 Cr (ガラス基板側) はガラス基板との密着性、Cu はは

んだとのぬれ性及び上層 Cr ははんだ流れ防止膜 (Fig. 1 では Solder dam と表わしている) の観点から選んだ。まず、3 層膜のエッチングについて検討した結果、Table 3 に示すエッチング液を用いることにより、選択エッチングできることがわかった。しかし、Table 1 に示した信頼性試験の中で、金属膜にも要求される、高温高湿試験で金属膜がはく離する問題が発生した。はく離状況の写真を Fig. 5 に示す。金属膜がカールするようにはく離しており、このはく離部を XMA で分析した結果、下層 Cr (ガラス基板側) と Cu との界面ではく離していることが確認された。はく離原因としては、(1) Cr 膜の応力集中、(2) Cr と Cu との熱膨張率の差 (Cu: $16.7 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$, Cr: $4.9 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$)、(3) 高温高湿下における金属電位置 (酸化還元電位) などが総合的に影響しているものと考えられる。

上記推定原因のはく離対策としては、下層 Cr と Cu との間に合金層 (Cr-Cu) を設けて密着性を向上させる、Cr と Cu との間に Ni 膜 ($\alpha: 12.8 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$) を入れ、熱膨張率の差を小さくすることなどが考えられる。そこ

Fig. 6 Etching speed of metallic film for Cr etching solution.

で、次に Table 2 に示した Cr-Cr-Cu-Cu-Cr 4 層膜、NiCr-Cu-Cr 3 層膜、Cr-Ni-Cu-Cr 4 層膜について、その形成方法、エッチング性及び高温高湿試験について検討した。その結果、いずれの多層膜も高温高湿試験を満足することを確認した。次に、多層膜の形成方法について比較した。多層膜の形成は密着性を高めるために、これらの多層膜は同一真空室内にて連続蒸着をしている。したがって、Cr-Cr-Cu-Cu-Cr 4 層膜中は Cr と Cu とを別々の蒸発源から同時に蒸発させ合金層を形成していることから、他の多層膜 (NiCr-Cu-Cr, Cr-Ni-Cu-Cr) に比較して、作製プロセスが複雑になる問題があることがわかった。さらに、多層膜のエッチングは、Table 3 に示すエッチング液を用いることにより、選択エッチングは基本的には可能であることを確認した。例えば、代表例として Cr-Ni-Cu-Cr 4 層膜の Cr 膜をエッチングした際のエッチング特性を Fig. 6 に示す。K₃Fe(N)₆ 系エッチング液により、Cr 膜のみがエッチングされ、Cu 及び Ni 膜はほとんどエッチングされず、選択エッチングが可能であることがよくわかる。しかし、Cr-Cr-Cu-Cu-Cr 4 層膜及び NiCr-Cu-Cr 3 層膜中の Cr-Cu、NiCr 合金層をエッチングする際は、例えば Cr-Cu 合金層の場合は Cr と Cu のエッチング液に交互に浸漬して、エッチングする必要があるエッチングプロセスが複雑になる問題がある。NiCr 合金層の場合も同様であることを確認した。

以上、Table 2 に示す 4 種類の金属膜を取り上げ、高温高湿試験、形成方法及びエッチング性について検討した結果、Cr-Ni-Cu-Cr 4 層膜 (以下 Cr-Ni-Cu-Cr 膜の略称) が最適であることを明らかにした。

4.2 金属膜の膜厚

金属膜 (配線) としては Cr-Ni-Cu-Cr 膜が適当であることが明らかになったので、次にそれぞれの膜厚に

Fig. 7 Leaching thickness of Cu after bondig and repair.

ついて検討した。4 層膜の中で、下層 Cr 膜はガラス基板との密着性、上層 Cr 膜は LSI チップ接続時のはんだ流れ防止膜の役目をし、その膜厚は $0.1 \mu\text{m}$ あれば十分であることを確認した。また、Ni 膜は先に述べたように高温高湿試験ではなく離防止膜として約 $0.2 \mu\text{m}$ あれば十分であることを確認した。

そこで、4 層膜の中で一番重要となるのは Cu 膜の厚さである。何故ならば、

- (1) Cu 膜に LSI チップを接続する際、接続時に Cu 膜がくわれ、下層 Ni 膜とはんだが直接接触するとその界面で密着性が低下する⁹⁾。
- (2) 接続した LSI チップが不良品であった場合、LSI チップを取り替える (以下リペアと表わす) が必要があり、この熱履歴により、さらに Cu 膜がくわれる。
- (3) LSI チップ接続後、Cu とはんだ中の Sn とが反応して合金層^{9,10)}を生成し、この合金層の生成速度は使用環境温度が高い程速い。Cu 膜がすべて合金化すると、下層 Ni 膜との界面で密着性が低下する。

などの現象、問題点があるからである。

そこで、まず(1)、(2)の LSI チップ接続時及びリペア工程でくわれる Cu 膜の厚さを調べた。その結果を Fig. 7 に示す。Fig. 7 における 1 回のリペアとは、Fig. 8 に示すように不良 LSI チップの取り外し、基板側のは

Fig. 8 Temperature profile for one repairing process.

Fig. 9 Thickness of Pb/Sn alloy vs. storage time.

んだ高さの平坦化及び新 LSI チップの再接続の 3 工程が必要であり、はんだの加熱、溶融の熱履歴が 3 回加わることを表わす。Fig. 7 から明らかなように、Cu くわれ量は LSI チップの接続時に $0.1\ \mu\text{m}$ 、リペア工程を 3 回加えた場合でも $0.6\ \mu\text{m}$ 以下であることがわかった。

次に、(3)の高温放置試験による Cu と Sn との合金層の生成膜厚について調べた。合金層は、Cu 蒸着膜表面に Pb-5 wt%Sn はんだをディップ法で形成し、 95°C に放置した場合に生成した合金層を顕微鏡で観察した。得られた結果を Fig. 9 に示す。Fig. 9 から、500 時間放置した場合の合金層は $1.3\ \mu\text{m}$ 生成することが確認された。

以上、接続時、リペア工程及び高温放置試験のすべてを満足するために必要な Cu 膜の厚さは $1.9\ \mu\text{m}$ であることを明らかにした。そこで、以下の実験では Cu 膜の厚さは $2\ \mu\text{m}$ とした。

4.3 接続端子部の温度サイクル及び被覆樹脂組成

ガラス基板上の金属膜は LSI チップを接続した後、

Fig. 10 Cumulative rate of failure after thermal cycle test (Test condition: $-30^\circ\text{C} \rightleftharpoons +85^\circ\text{C}$, 4 hrs/ ∞).

金属膜及び接続端子部が温度サイクル ($-30^\circ\text{C} \rightleftharpoons +85^\circ\text{C}$, 4 hrs/ ∞ , 1000 ∞) により、はく離及び破断しないことが要求される。そこで、まず Cr-Ni-Cu-Cr 膜の温度サイクルをした結果、はく離は認められず、目標値を満足することを確認した。

次に、LSI チップとガラス基板の熱膨張率の差による繰返し応力によって、疲労破断が起こりやすいはんだ接続部の温度サイクルについて調べた。試料としては、3.2 節で述べたようにガラス基板上に LSI チップ (Type A: Straight, Type B: Zig zag) を接続したものを用いた。温度サイクル試験結果を Fig. 10 に示す。LSI チップに樹脂を被覆した場合及びしない場合の結果について示してある。縦軸の故障率とは試料を所定の温度サイクルごとに取り出して電氣的に導通を検査し、接続端子部が 1 ケ所でも導通不良を生じたものは、その試料 (LSI チップ) は故障したとみなし、故障試料数を投入試料数でわった値を示す。樹脂被覆なしの LSI チップ (Bare chip と表わす) の故障は低サイクルから発生し、サイクル数が増加するにつれて大きくなることがわかった。故障モードは、主に LSI チップ及びガラス基板界面近傍のはんだ破壊であるが、低サイクルでの故障モードはガラス基板と接続端子パターンとはく離であることがわかった。また、接続端子が千鳥配置 (Type B) の場合は、接続端子部分のガラスクラックが認められ、クラックはチップ内側接続端子の内側が起点になり、外側に進展していることが確認された。接続端子部にクラックが発生する原因は、はんだによる拘束力が増して、はんだ自体が変形しにくくなり、接続端子部に強い応力が加わったためと考えられる。この結果から、樹脂被覆なしの試料は比較的低サイクル数で不良が発生し、目標である温度サイクル試験を満足できないことがわかった。

フリップチップ実装は湿度に対する防湿保護が不可欠

Fig. 11 Failure rate of resin covered chip on glass devices vs. α of resin after 1000 thermal cycles.

であり、樹脂被覆による保護が最も簡便で実用的である。そこで、樹脂被覆を前提に温度サイクルに対する信頼性向上の可能性を検討した。

まず、予備検討として、防湿効果を考慮してアクリル系樹脂、エポキシ系樹脂など4種類を選定し¹¹⁾、温度サイクル試験をした結果、樹脂としてはエポキシ系樹脂がよく、LSIチップ故障率50%での温度サイクル数は3400で、予想に反して有望であることがわかった。エポキシ系樹脂が温度サイクル試験において良い結果を示した原因は、その他の樹脂に比較して熱膨張係数が小さい($4 \times 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$)以外に、ポリブタジエンゴムを含有している点にあると思われる。ポリブタジエン配合エポキシ系樹脂は、特有の海島構造を作り、応力緩和能力の高い硬化物を作ると言われており¹²⁾、これがはんだ接続部に応力が集中するのを防止しているものと考えられる。

そこで、3.2節で述べたエポキシ系樹脂の基本組成をベースに、ポリブタジエン配合量とフィラー配合量を変え、熱膨張係数 α を変えた樹脂を作製し、温度サイクル試験をした結果をFig. 11に示す。Fig. 11の縦軸は、温度サイクル1000回後のLSIチップの故障率、横軸は作製した樹脂の熱膨張係数 α を示す。用いたLSIチップの接続端子は一列配置(Type A)である。Fig. 11から明らかなように、熱膨張係数 $20 \sim 30 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ の樹脂を被覆することにより、LSIチップの故障率を零にすることができることを確認した。つまり、被覆する樹脂の熱膨張係数ははんだのそれ(Pb-5%Sn: $23 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$)に近づければよいことがわかる。Fig. 10に熱膨張係数 $20 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ (フィラー含有量50 vol%)の樹脂を被覆したLSIチップの温度サイクル試験結果を示したが、1000回でも故障はまったく発生しないことを確認した。

以上、ガラス基板に実装したLSIチップの温度サイクル試験を満足するためには、LSIチップにエポキシ系樹脂を被覆すればよく、かつ被覆樹脂の熱膨張係数は

Table 4 Physical constants for analysis

	E (kgf/mm ²)	σ	α (1/ $^{\circ}\text{C}$)
Resin	800	0.24	25×10^{-6}
Si	17300	0.066	3×10^{-6}
Solder	1550	0.4	23×10^{-6}
Glass	6300	0.22	9.3×10^{-6}

E : Young's modulus

σ : Poisson's ratio

α : Thermal expansion coefficient

んだのそれ($23 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$)に近づけた組成にすればよいことを明らかにした。

そこで、LSIチップに樹脂被覆することにより、耐温度サイクル性が向上するメカニズムについて、2次元弾性として有限要素法による解析を行なった。Table 4は計算に用いた物理定数を示す。樹脂とはんだの熱膨張係数 α はほぼ一致させている。Fig. 12は温度85 $^{\circ}\text{C}$ から25 $^{\circ}\text{C}$ に変化させた接続端子部の主応力分布を示し、(a)は樹脂被覆をしない場合(Bare chip)、(b)は樹脂被覆をした場合である。樹脂被覆をしない場合ははんだとガラス基板との界面で応力集中が顕著である。これに対して、樹脂被覆をした場合は局部的な応力集中はなく、応力の大きさも小さいことがわかった。

これらのことから、樹脂被覆は局部的な応力集中を回避する効果があり、これにより接続端子部の温度サイクルの信頼性が大幅に向上したものと考えられる。

4.4 高温高湿動作試験時の短絡現象とその解明

ガラス基板上に形成する金属膜としては、Cr-Ni-Cu-Cr膜が適しており、その4層膜の選択エッチング液を選定し、かつ各々の膜厚を明らかにした。さらに接続端子部の温度サイクル試験による故障は、はんだの熱膨張係数に近いポリブタジエン配合エポキシ樹脂を被覆することにより防止でき、目標値を満足することがわかった。

そこで、次にFig. 1に示す実機のチップオンLCDを試作し、高温高湿動作試験(70 $^{\circ}\text{C}/95\% \text{ RH}$, DC9V)をした。つまり、高温高湿下で液晶表示したままの連続動作試験である。なお、Fig. 1に示したチップオンLCDの接続端子部は保護膜で被覆されている構成になっているが、本試作では被覆をしていない。その結果、動作試験100時間で液晶パネルの表示不良が発生した。この原因について調べた結果、LSIチップの接続端子部にFig. 1に示すようにヒゲ(ホイスカー)状の析出物が生成し、接続端子間で短絡していることがわかった。

このヒゲ状の析出物についてXMAにより分析した

Fig. 12 Calculated results of principal stress analysis for soldering areas (Temperature shift: from 85°C to 20°C).

結果, Cu が析出していることがわかった。さらに, ヒゲの析出箇所は⊕電位の接続端子と⊖電極の接続端子との間で, かつ接続端子間の狭いところで発生していることが確認された。

Cu が析出する原因としては, 試験条件が高温高湿下であることから, LSI チップを被覆している樹脂及び樹脂と基板との界面から水が侵入し, 電界強度 ($\max 3 \times 10^3 \text{ V/cm}$) が一番大きい接続端子間で, ⊕電位の接続端子が溶解し, ⊖電位の接続端子に析出するという電気化学反応が起こっているものと推定される。

この推定原因に基づいて, ヒゲ状生成物の析出機構の再現実験をした。試料としては, Fig. 14-(a) に示すような TEG パターン (LSI チップの接続端子パターンと同じ) をガラス基板上に形成し, ついで接続端子部分のみに実機と同じ条件でポリブタジエン配合エポキシ樹脂を被覆した後, 高温高湿下で所定の端子に電圧 (LSI チップを駆動するのに必要な電圧 9V) を印加しながら, 接続端子間の析出状況を調べた。その結果, Fig. 14 に示すように通電時間162時間で⊖電位の接続端子に析出物が認められ, かつ⊕電位の接続端子が溶解する現象が認められた。このことから, 上記の推定原因は妥当と考えられる。⊕電位の接続端子が溶解し, ⊖電位の接続端子に析出するならば, Cu 以外に Cr, Ni も析出してよいはずである。しかし, Cu 以外の析出物が認められなかった。その原因としては, 水溶液中では Cr, Ni は不動態皮膜^{13,14)}を生成しやすいことから, 選択的に Cu の

Fig. 13 Bonding pad structure after life test (Test condition: 70°C/95%RH, 1000 hrs).

みが溶解し, Cu が析出したものと考えられる。また, もし Cr 及び Ni が溶解したとしても, Cu の標準電位 (+0.34 V) は Cr (-0.74), Ni (-0.25 V) のそれに比較して貴であり¹⁵⁾, そのため, カソード反応(析出反応)は Cu の方が起こりやすく, Cu のみが析出したのではないかと推定される。

以上の結果から, 接続端子の短絡は被覆樹脂と基板との界面を通して水が侵入することにより, ⊕電位の接続端子が溶解し, ⊖電位の接続端子に析出しそれが成長するために起こることがわかった。

そこで接続端子間の短絡防止策について検討した。その結果, ガラス基板上の金属膜 (接続端子部も含む) 上

Fig. 14 TEG pattern and whisker formation after life test (Test condition: 70°C/95%RH, 162 hrs).

Fig. 15 Whisker formation time vs. thickness after life test (Test condition: 70°C/95%RH, DC9V).

にスパッタ SiO₂ 膜を保護膜として被覆する方法がよいことがわかった。そこで、試料として、先の TEG パターン上に膜厚を変えてスパッタ SiO₂ 膜を形成し、その上に樹脂を被覆したものを作製した。この試料を用いて高温高湿下での通電試験をし、接続端子部のモードを観察した。その結果を Fig. 15 に示す。Fig. 15 の横軸はスパッタ SiO₂ 膜厚を金属膜厚 (4.2 節より 2.3 μm) で割った値である。これから明らかなように、SiO₂ 膜厚/金属膜厚が 0.5、つまりスパッタ SiO₂ 膜を 1.15 μm 被覆することにより、目標値 (250 時間) を満足することがわ

かった。しかし、SiO₂ 膜厚/金属膜厚=0.5 では、通電時間 300 時間で金属膜の溶解が認められることから、安全を考慮して SiO₂ 膜厚/金属膜厚=1.0 (SiO₂ 膜厚 2.3 μm) とした。また、LSI チップを接続する場合、金属膜上のスパッタ SiO₂ 膜にスルホールを形成する必要であり、そのエッチング液としては Table 3 に示したフッ酸-フッ酸化アンモニウム溶液で問題なく、エッチングできることを確認した。

この結果を基に、金属膜上に保護膜であるスパッタ SiO₂ 膜を採用した Fig. 1 に示す実機のチップオン LCD を作製し、高温高湿動作試験をした。その結果、Table 1 の目標値を十分満足することを確認した。

5. ま と め

液晶表示要素子の大型化に伴ない、接続端子数が急激に増大し、信頼性の高い実装技術が必要とされている。そこで、液晶パネル (ガラス基板) 上に LSI チップをフリップチップ実装する方法を取り上げ、その金属膜構成、エッチング技術及び被覆樹脂材料について検討し、以下の結論を得た。

- (1) ガラス基板上に形成する金属膜としては、Cr-Ni-Cu-Cr 4 層膜が最適であり、その膜厚を明らかにした。
- (2) LSI チップ上にはんだの熱膨張係数 (23×10⁻⁶/°C) に近いエポキシ系樹脂を被覆することにより、

耐温度サイクル性を向上でき、そのメカニズムを明らかにした。

- (3) 高温高湿動作試験時に発生する短絡現象を究明し、その短絡は金属膜上にスパッタ SiO_2 膜を金属膜厚と同等以上に被覆すれば防止できることを明らかにした。

謝辞

本研究の遂行に当たり御指導いただいた当研究所杉田恒主管研究員、華園雅信主任研究員、近崎充夫主任研究員をはじめ実験に協力をいただいた本壮浩、沢島守の各氏及び研究全般にわたって御討論、信頼性評価の一部を担当していただいた茂原工場工藤晋次部長、金崎幹雄主任技師、久保毅一郎の各氏に感謝する。

〔文 献〕

- 1) 佐々木，中村：電子材料，**21**，(1982) 82.

- 2) J. Erlewein et al.: SAE paper #840148 (1984)
3) C. J. Gerristma et al.: IEEE, **61** (1973) 829.
4) L. S. Goldman: IBM J. Development, **13** (1969) 251
5) 林，阿部：日経エレクトロニクス，1981年7月20日号
6) 中野，曾我，府山：昭和61年度電子通信学会総合全国大会，講演番号 S-2 (1986)
7) 中野，曾我，府山：第29回半導体・集積回路シンポジウム，論文番号 8 (1985)
8) はんだ付け技術編集委員会：エレクトロニクスのはんだ付け（総合電子出版社，1977）p. 27.
9) R. S. Berry et al.: IBM J. Res. Develop., **13** (1969) 286.
10) P. J. Kay et al.: Trans. Inst. Metal Finish, **54** (1976) 68
11) 大森，前川：電子材料，**19** (1980) 36.
12) 新保：日本接着協会誌，**17** (1981) 507.
13) 電気学会編：電気化学（電気学会，1975）p. 215.
14) 田島：電気化学通論（共立出版，1970）p. 232.
15) 電気化学協会編：電気化学便覧（丸善，1985）p. 72.