ミリ波帯パッケージへの液晶ポリマーの適用

小倉 洋*, 高橋 和晃*, 田中 真治**, 福武 素直***

High Frequency Characteristics of Liquid Crystal Polymer for a Millimeter-Wave Package

Hiroshi OGURA*, Kazuaki TAKAHASHI*, Shinji TANAKA** and Sunao FUKUTAKE***

*松下電器産業株式会社先端技術研究所 (〒214-8501 神奈川県川崎市多摩区東三田3-10-1)

**松下ソリューションテクノロジー株式会社テクノサポートビジネスユニット (〒530-0001 大阪府大阪市北区梅田1-3-1)

***ジャパングアテックス株式会社ポリマーサイエンスセンター (〒709-2123 岡山県御津郡御津町河内1102-4)

*Advanced Technology Research Laboratories, Matsushita Electric Industrial Co., Ltd. (3-10-1 Higashimita, Tama-ku, Kawasaki-shi, Kanagawa 214-8501)

**Techno Support Business Unit, Matsushita Solution Technology Co., Ltd. (1-3-1 Umeda, Kita-ku, Osaka-shi, Osaka 530-0001)

***Polymer Science Center, Japan Gore-Tex Inc. (1102-4 Kouchi, Mitsu-cho, Mitsu-gun, Okayama 709-2123)

Abstract

The high frequency characteristics of liquid crystal polymer (LCP) have been investigated using a microstrip line (MSL) on a silicon (Si) substrate to verify the possibility of the application of the material in millimeter-wave packaging. A LCP film was fabricated using a direct-bonding technique on Si substrate. Measured characteristics of insertion loss are compared between a LCP film and a SiO₂ film. The loss of the LCP-MSL is approximately 1/2 of that of the SiO₂-MSL. Moreover, a GaAs low noise amplifier (LNA) microwave monolithic integrated circuit (MMIC) was fabricated using a flip-chip bonding technique on a LCP substrate to demonstrate an application for a millimeter-wave package. The measured output gain of the LNA package is over 11dB. The millimeter-wave LCP package is a promising technology in realizing low cost millimeter-wave radio equipment.

Key Words: Millimeter-Wave, LCP, Package, High Frequency, Flip-Chip

1. 緒 言

近年、動画像などの大容量の情報を、高速で伝送可能とする無線通信システムの実現が望まれており、従来の周波数帯よりも広い帯域幅を確保できるミリ波帯の利用が期待されている。しかしながら従来のミリ波帯回路の製作方法は、高価な部品を個々に基板上へ実装していく手法がとられていたため、ミリ波回路モジュールの小型、低コスト化が課題となっていた。

われわれはミリ波回路モジュール製作の課題を解決するため、アンテナやフィルタを内蔵したミリ波システムオンパッケージ(SOP)の製作方法を提案してきた^{1)~3)}。図1に、提案しているミリ波SOPの外観写真と構成図を示す。このミリ波SOP製作方法は、マイクロマシニング技術と薄膜積層技術およびフリップチップ実装技術を適用したものである。基板は、安価なシリコン(Si)基板を用いている。しかしながら、上記の薄膜積層技術は、ベンゾシクロブテン(BCB)を低誘電体膜として使用しているため、低コスト化のさらなる改善が求められていた。その理由は、BCB膜が、スピンコートとキュアの簡易な工法で形成可能であるものの、スピンコート工程におけるBCB使用効率が7%以下であるとともに、材料価格も高価であることに起因する。

一方、高周波特性に優れる樹脂材料として熱可塑性樹脂である液晶ポリマー(LCP)が注目されている^{4),5)}。LCPは耐熱性に優れる(はんだ耐熱性280℃)とともに、ポリイミドと比べて吸水率が小さく(吸湿膨張係数:2ppm/%)、熱膨張係数も従来の樹脂と比べて小さい(熱膨張係数:16ppm/℃)ため寸法安定性も優れている。また、リサイクル可能な樹脂であるため、熱硬化型樹脂と比べて環境負荷も小さい。

LCPは、シート形態のフィルムとして市販されているた

図1. ミリ波SOPの外観写真と構成図

図2. 一般的なミリ波 MMIC パッケージ

め、Si 基板上に直接形成が可能であれば、スパインコート工程を使用する従来工法と比べて、ミリ波 SOP における誘電体膜形成コストの大幅な削減が見込まれる。また、ミリ波 MMIC パッケージ用の 1 次基板へ LCP の適用が可能であれば、図 2 に示すような高価なセラミック材料を 1 次基板として用いている従来の MMIC パッケージに対し、安価な樹脂基板型 MMIC パッケージを供給することが期待できる。

本報告は、LCP のミリ波 SOP 用誘電体膜としての適用を検討するため、Si 基板上に LCP を用いて伝送線路を形成し、高周波特性評価を行った結果について述べる。さらに、ミリ波 SOP の実装および MMIC パッケージの実装検討として、LCP 基板上へ MMIC フリップチップ実装を行った特性評価結果についても述べる。

2. 実験

2.1 伝送線路製作による高周波特性評価

LCP のミリ波 SOP の誘電体膜適用を検討するため、Si 基板上に、GND 層となる Cu 膜を形成した後、LCP シートを接合し、LCP 上に伝送線路を形成後、高周波特性評価を行った。LCP シートは、25 μm 厚の BIAC（ジャパングアテックス社製）を用いた。また、高周波特性は、ネットワークアナライザ（8510, HP 社製）を用いてミリ波帯特性を評価した。伝送線路形成方法を図 3 に示す。図 3 における各工程について、以下に記す。

(a) Si 基板（4 インチ厚み 400 μm ）上に、スパッタにて Ti/Cu 膜（0.2 μm 厚）を形成した後、電解めっきにて Cu 膜を 2 μm 形成する。(b) LCP シートを Si 基板上に加熱圧着する。加熱温度は 320°C、加圧力は 3.9 MPa である。(c) LCP 上にレジストマスク（P-LA900 東京応化製）にて、パターンニング形成（40 μm 厚）後、ドライエッチングを用いてビアホールを形成する。ドライエッチング方式は、反応性イ

図3. 伝送線路形成工程

オンエッチングであり、エッチング条件は、 CF_4 (30sccm) と O_2 (20sccm) の混合ガスを用い、RF (13.56 MHz) 出力 1.3 W/cm²、圧力 40 Pa である。(d) 基板全面にシースメタル（Ti/Cu 膜：0.2 μm 厚）をスパッタにて成膜し、回路形成を行う反転パターンをレジストにて形成した後、Cu 膜を電解めっきで形成し、レジスト除去後、シースメタルをウェットエッチングし、伝送線路を完成させる。

2.2 液晶ポリマー基板への MMIC フリップチップ実装

LCP 基板上の MMIC のフリップチップ実装特性を評価するため、両面銅張の LCP 基板 (BIAC) を用いて基板を作成し、MMIC をフリップ実装後、高周波特性を評価した。使用した基板は、Cu 箔 (18 μm)/LCP (125 μm)/Cu 箔 (18 μm) の構成である。回路パターン設計は、ADS (Advanced Design System, HP 社製) を用いた。回路パターンはマイクロストリップ構造であり、高周波 GND 強化のためスルーホールを設けた構造とした。基板の製作方法は、通常のプリント配線板製作と同様の加工方法（サブトラクティブ法）を用い、スルーホールはドリル加工にて形成した。MMIC は低雑音増幅器（UMS 社製 CHA2093）を用いた。図 4 は実装前の LCP 基板、図 5 は実装前の MMIC である。フリップ実装は、MMIC にスタッドバンプを形成し、導電ペーストを用いて基板と接続した。なお、MMIC 内の回路のインピーダンス変化を防ぐため、封止樹脂は用いず、MMIC と基板間には中空構造とした。また、フリップチップ実装後の強度を確保するため、MMIC の四角に絶縁樹脂をポッティングした。実装断面図を図 6 に示す。

図4. 実装前の LCP 基板

図5. 実装前の MMIC

図6. 実装構造断面図

3. 結果および考察

3.1 LCPの加工性と高周波特性評価

製作した伝送線の写真を図7に示す。(a)は基板全体を(b)は伝送線路部を拡大した写真である。LCPシートは自着性を有するため、プリプレグなどの接着層を使用せず、基板との直接接合が可能である。接合の際に接着層を設けると、接着層がもつ誘電損失の影響を受け、伝送線路の損失を増やすこととなるが、LCPシートは直接接合が可能であるため線路損失の低減に有利である。

LCPのドライエッチング加工レートは、 $0.26\mu\text{m}/\text{min}$ であった。このレートは、一般の SiO_2 膜のドライエッチングレートとほぼ同等であるが、BCB膜のドライエッチングレート約 $2\mu\text{m}/\text{min}$ と比べると低い。LCPのビアホール加工には、ドライエッチングよりも他の加工方法を選択することが望ましい。図8は、エキシマレーザ(KrF : 248nm)を用いて、 $0.7\text{J}/\text{cm}^2$, 400ショットの条件で、裏面の一部にCu箔のある $125\mu\text{m}$ 厚のLCPシート(BIAC)に $150\mu\text{m}$ の穴加工を施した例である。図8より、下地にCu箔がある部分は、ブラインドビアとして加工され、Cu箔がない部分には、スルーホールが形成されることがわかる。LCPシートは、ガラスクロスを含まないため、レーザ加工性が良い。形成するビアホール数に依存するが、LCP加工において、レーザ加工はエッチング加工に優る。

LCP上に形成した伝送線路は、特性インピーダンス 50Ω の線路であり、長さ 10mm 、幅 $67\mu\text{m}$ 、厚み $2\mu\text{m}$ である。誘電体膜としてLCPを使用した効果を検証するため、LCP伝送線路形成方法とほぼ同様な方法で、BCB膜上の伝送線路および SiO_2 上の伝送線路を製作し、線路の周波数に対す

図7. 実装断面図

図8. エキシマレーザによるLCPビアホール加工のSEM写真

図9. マイクロストリップ線路の挿入損失比較

表1. 各誘電体材料の比較

誘電体	LCP	BCB	SiO_2
成膜プロセス	直接接合	スピンコート	プラズマCVD
誘電体膜厚	$25\mu\text{m}$	$26\mu\text{m}$	$9\mu\text{m}$
比誘電率	3	2.7	4
誘電損失	0.003	0.004	0.03
50Ω 線路の幅	$67\mu\text{m}$	$67\mu\text{m}$	$23\mu\text{m}$

る挿入損失(S_{21})特性を測定した。ただし、BCB膜の形成はスピンコート、 SiO_2 膜の形成はプラズマCVDにて行った。測定結果を図9に示す。また、各線路の特性を表1に記す。図9より、LCP膜使用の線路の損失は、BCB膜使用の場合とほぼ同等であり、 SiO_2 膜使用の場合の約1/2となっている。

各誘電体材料の誘電率、誘電損失には大きな差がないものの、高周波特性が異なる理由は、基板上に形成した誘電体の膜厚に起因する。線路の損失を低減するためには、線路の導体損失を抑制することが効果的であるが、ミリ波帯では、表皮効果が顕著になるため、線路導体の厚膜化はあまり効果的ではなく、線路幅を広げることが線路の導体損失低減につながる。線路の特性インピーダンスを一定に保ったまま線路幅を広げるには、誘電体の厚膜化が必要になるが、プラズマCVDによる SiO_2 膜の成膜では $5\mu\text{m}$ を超える厚膜化は容易ではない。一方、BCBやLCPは簡易に $20\mu\text{m}$ 以上の厚膜化が達成できるため、線路幅を広く取ることが可能となり、線路損失の抑制が達成されている。

伝送線路の高周波特性測定結果より、LCPはミリ波帯への適用が可能な材料であることが確認された。また、LCPは直接接合という簡易な工法で、材料使用効率の高い誘電体膜形成が達成され、LCPの形態がシートであるため、 $50\mu\text{m}$ 以上の誘電体膜形成も可能であることから、ミリ波SOPの誘電体膜として有効であると判断できる。

図10. フリップチップしたミリ波パッケージ

図11. 周波数に対するパッケージの利得

3.2 MMIC フリップチップ実装

図10にフリップチップ実装したミリ波パッケージを示す。MMICの周辺には、バイパスコンデンサとして、100 pFの平板コンデンサと10 nFのチップコンデンサを実装した。マイクロストリップ線路の線幅は、220 μm である。

図11は、製作したパッケージの周波数に対する利得を測定した結果である。製作したパッケージの特性を検証するため、MMICに直接プローブをあてたときの特性と、MMICをセラミック基板（250 μm 厚）にAu-Au熱圧着接合を用いてフリップチップ実装を行ったパッケージの特性も測定した。図11において、LCP基板を用いたパッケージの利得は20から30 GHzの周波数領域において、11 dB以上を確保しており、ミリ波モジュール用のパッケージとして適用が可能と判断できる。しかしながら、MMICを直接測定したもの、およびセラミック基板を用いたものと比べると線形性が悪い。この原因は、製作した回路パターンの特性インピーダンスが、設計した値(50 Ω)と一致していないことに起因すると考えられる。製作したLCP基板は、サブトラクティブ法で製作したため、導体厚が約40 μm となり、その導体をウェットエッチングで加工したことによって、配線パターンの断面形状が設計の際に想定した形状と異なった

ため、特性インピーダンスが設計値と異なると推測される。今後基板製作に、ミリ波SOP製作の配線形成時に使用するアディティブ法の採用などを行うことにより、フリップチップ実装後の特性を改善することが可能であると考えられる。

以上より、LCP基板はミリ波帯のフリップチップ実装が可能であり、性能要求が厳しいミリ波パッケージ用誘電体材料として適用が可能と判断できる。

4. まとめ

ミリ波帯パッケージ用の誘電体材料として、LCPの適用を検討した。その結果、以下の知見が得られた。

- (1) LCPシートは、シリコン基板への直接接合が可能。
- (2) LCPを用いて伝送線路を形成し、挿入損失を測定したところ、 SiO_2 を用いる場合の約1/2の低損失化を達成した。
- (3) LCP基板にミリ波帯LNAをフリップチップ実装し、20から30 GHzの周波数領域において、11 dB以上の利得を確保した。
- (4) 本取り組みにより、LCPはミリ波帯パッケージ用樹脂として有効であることが確認された。

(2003.2.10-受理)

文 献

- 1) 小倉 洋, 他: “マイクロマシニング技術を用いたミリ波アンテナ”, 第10回マイクロエレクトロニクスシンポジウム論文集, p. 55, 2000
- 2) 小倉 洋, 他: “アンテナ・フィルタ内蔵60 GHz帯受信フロントエンドIC”, 第11回マイクロエレクトロニクスシンポジウム論文集, p. 371, 2001
- 3) K. Takahashi, et al.: “A Compact V-Band Filter/Antenna Integrated Receiver IC Built on Si-Micromachined BCB Suspended Structure”, IEICE Trans. Electron, Vol. **E84-C**, No.10, p. 1506, 2001
- 4) G. Zou, et al.: “High Frequency Characteristics of Liquid Crystal Polymer for a System in a Package Application”, IEEE 8th Int. Symposium on Advanced Packaging Materials Dig., p. 337, 2002
- 5) T. Seri, et al.: “The New Organic Laminate for Over GHz Packaging”, Proc. of the Int. Conference on Electronic Packaging, p. 39, 2002