

# 高出力ハイブリッドIC技術

## New Technology for High Power Hybrid IC

電子部品の高機能化、小形化が進む中で、高出力・高周波回路はモノリシックIC化が難しく、従来ハイブリッドIC化が盛んに行われてきた分野である。近年、 $Al_2O_3$ (アルミナ)の約10倍の熱伝導度を持つAIN(窒化アルミ)が登場し、 $Al_2O_3$ 基板技術ではできないような高出力で高密度な回路への応用が期待されている。しかし、AINの化学的不安定さのために、厚膜の導体、抵抗の形成が難しく、実用化が遅れていた。

今回、AINに適した導体・抵抗材料の新規開発と、厚膜化のためのプロセス技術を開発し、出力5Wの超高精細CRTディスプレイ用ビデオアンプ回路に適用した。今後は厚膜材料の性能向上や高密度配線化技術も急速に進み、次世代ハイブリッドIC用基板材料として広く使用されるものと思われる。

遠藤 恒雄\* *Tsuneo Endo*  
 栗原 保敏\*\* *Yasutoshi Kurihara*  
 富田 喜久雄\*\*\* *Kikuo Tomita*  
 佐瀬 隆志\*\* *Takashi Sase*

### 1 緒 言

電子機器の高機能化・高容量化・小形化の傾向には著しいものがあり、使用される半導体素子に対する要求も年々厳しくなっている。中でも高出力・高周波回路の応用製品については、特にモノリシックIC化が難しいとされてきた分野であり、ハイブリッドIC化することで解決している。しかし、近年さらに高出力化・小形化の要求やパワー素子と高機能LSIとの混載化の要求が強くなり、新しい技術を用いたハイブリッドIC化技術が必要となっている。

ハイブリッドICに使用されている代表的な高熱伝導セラミックスの特性を表1に示す。 $Al_2O_3$ は電気絶縁性、耐熱性、化学的安定性などに優れた材料であることから、信頼性の高い

膜形成と半導体素子の搭載が可能であり、ハイブリッドIC用基板材料として古くから使用されてきた。しかし、さらに高出力化をしたり、素子を小形にするには $Al_2O_3$ では十分な放熱構造をとることができない。このような次世代の高出力ハイブリッドIC用の基板材料として注目されているのがAINである。AINは $Al_2O_3$ よりも一けた大きな熱伝導度を持ち、また熱膨張率もSi(シリコン)に近いことから、パワー素子を搭載するためには最適な材料と言える。以下に、最近開発したAIN用新材料・新プロセス技術と、これを応用した高出力ハイブリッドICについて述べる。

### 2 AIN上への膜形成技術

AINを $Al_2O_3$ と同じように、ハイブリッドIC用の基板として使いこなすには、高精度の抵抗形成と信頼性の高い半導体搭載とが、安価なプロセスコストで実現できることが必要である。AINへの膜形成法としては、印刷プロセスによる厚膜法、蒸着プロセスによる薄膜法、タングステンの同時焼成によるグリーンシート法等々が報告されている<sup>1)</sup>。中でも抵抗形成が容易であり、また量産性の面からもいちばん優れている厚膜法を採用し開発を進めることにした。

また、AINは $Al_2O_3$ に比べて化学的安定性が劣るために、酸化性雰囲気中では厚膜ペースト中のガラスフリットと容易に反応をしてしまう。このために、十分な膜性能を得ることが難しく、AINとの適合性の良い厚膜材料の開発も必要となった。

表1 高熱伝導セラミック基板の特性 熱伝導度だけみたらBeO, SiCのほうが優れている。ハイブリッドIC用基板として使用するためには各種の膜形成ができ、しかも安価である必要がある。この条件を満たすものとして現在AINが注目されている。

特性項目	単位	AIN	$Al_2O_3$	BeO	SiC
熱伝導率	W/mK	160	20	260	270
熱膨張率	$10^{-6}K^{-1}$	4.4	6.5	7.5	3.7
比抵抗	$\Omega \cdot m$	$> 10^{12}$	$> 10^{12}$	$> 10^{12}$	$> 10^{11}$
誘電率(1MHz)	—	9.2	8.1	6.7	45
誘電正接(1MHz)	$\times 10^{-4}$	1~10	3	4	50
絶縁耐圧	$10^6V/m$	15	15	10	0.7
ヤング率	MPa	330,000	370,000	320,000	400,000
曲げ強度	MPa	400	300	240	450

\* 日立製作所 高崎工場 \*\* 日立製作所 日立研究所 \*\*\* 日立製作所 大みか工場

### 2.1 配線層の形成

Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>用の配線材料としては、信頼性の高いPd-Ag(パラジウム-銀)系のペーストが最も広く使用されている。このペーストは導電成分となるPd-Agの微粉末と、基板との接着性を持たせるためのガラスフリットから成るものである。

このペースト材料を用いた場合の導体膜の断面部走査電子顕微鏡像を図1に示す。Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>上に形成した場合は同図(a)のように、熔融したガラスがAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>の粒界に沿って深く浸入しており、良好な接着状態となっている。一方、同図(b)はAlN基板上に形成した場合であり、熔融したガラスは基板内部に浸入していかず、導体と基板の界面に厚い滞留ガラス層を形成する。この滞留ガラス層は、AlNと反応して脆い界面層となるために接着強度は強くない<sup>2)</sup>。

この点をもう少し詳しく調べるために、ガラスフリットの軟化点を変えてみた結果を図2に示す。軟化点が高いほどガラスの沈降が少なく、滞留層の厚さを薄くすることができる。また、接着強度は500℃で最も高い値を示し、軟化点が高くて強度は低下する。これはガラスの軟化に先行して金属粒子の焼結が進むため、熔融ガラスが基板側に流動せず、接着担体としての役割を十分果たさないからである。

これらの結果から、接着強度の優れた配線層を得るためには焼成過程での適度なガラスの流動性を持たせることが必要であり、約500℃の軟化点を持つガラスフリットを用いた導体ペーストの開発を行った。このようにして得られたペーストの接着力の信頼性は、図3に示すように良好な結果が得られ、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>基板とほぼ同等、また市販のAlN用導体ペーストに比べ大幅な改善が確認された。

### 2.2 抵抗体の形成

抵抗体の形成に対してはさらに多岐にわたる検討が必要であり、抵抗温度特性の制御技術や、トリミングによる高精度

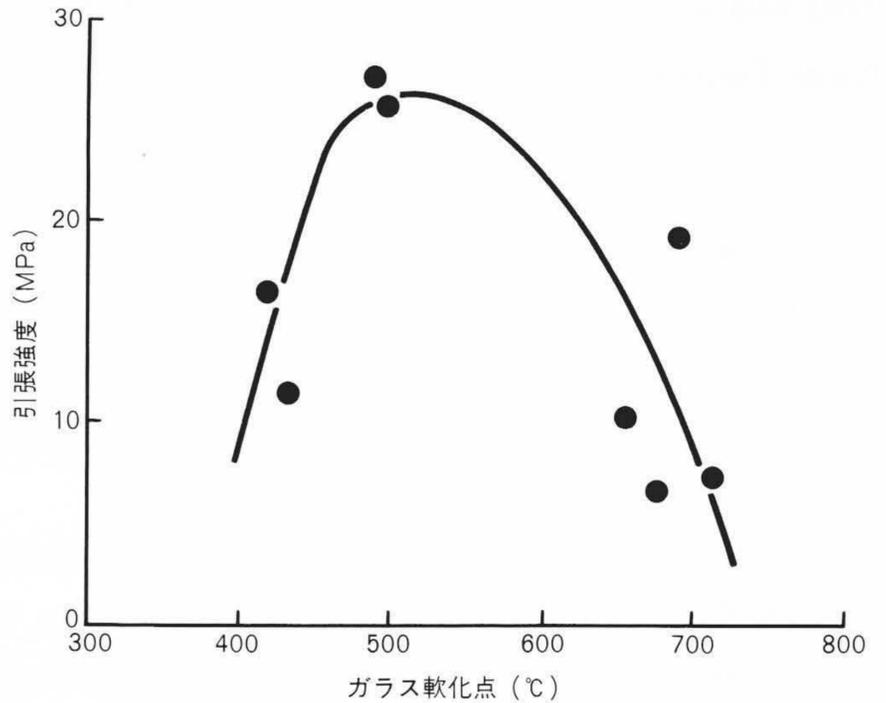


図2 ガラスフリットの軟化点と導体引張強度 500℃前後の軟化点を持つガラスフリットを使用することで、導体ペーストの接着力は向上する。

化技術も加味した技術開発が必要である。

抵抗ペーストは導電性のRuO<sub>2</sub>(酸化ルテニウム)粉末とガラスフリットを混合したものであり、ガラスフリットの量を増やすほどシート抵抗は高くなる。しかし、多量のPbO(酸化鉛)を含む低軟化点のガラスフリットを用いると、AlNとガラスが激しく反応して遊離した窒素による発泡や導電粒子の凝縮が生じ、再現性が良く信頼性も高い抵抗体を得ることができない。また抵抗膜とAlNの熱膨張係数を合わせ込むことも必要であり、PbOの含有量が少なく、低軟化点、低熱膨張率のガラスフリットの開発と、それを用いた抵抗ペーストの開発を行った<sup>3)</sup>。

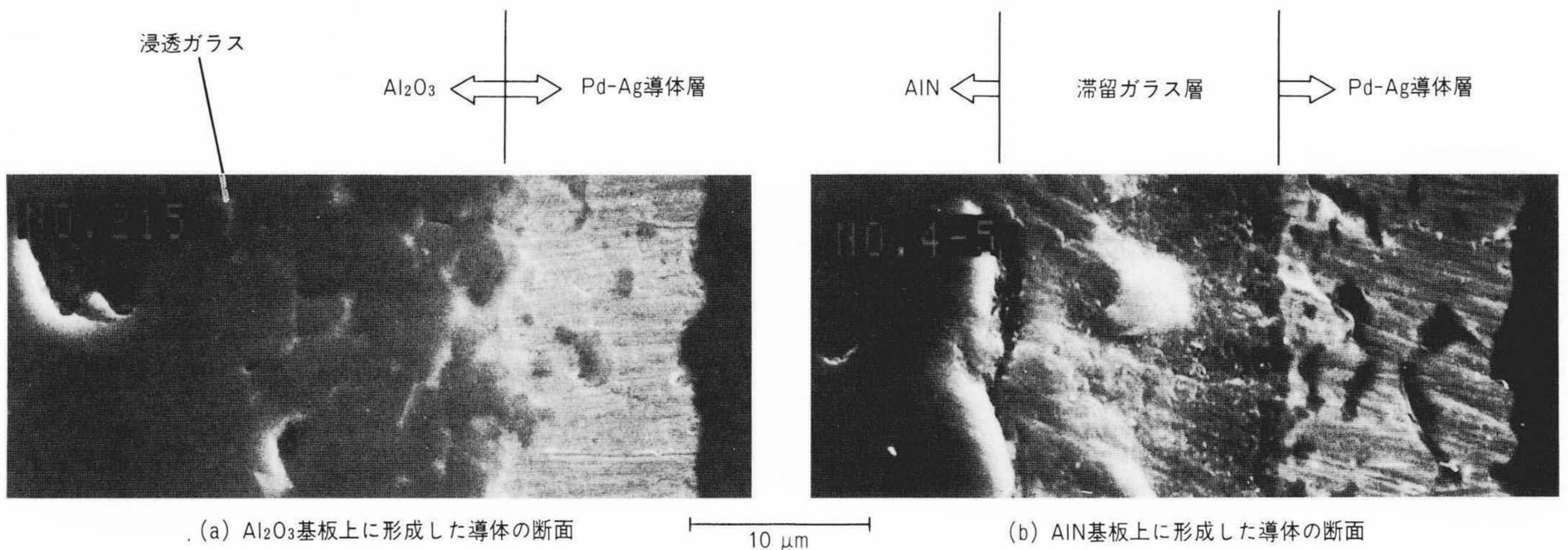


図1 導体形成試料の断面部走査電子顕微鏡像 AINはAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>に比べて緻(ち)密な焼結体となるため、厚膜中のガラス分が基板内に浸透していかず、界面に滞留ガラス層を形成する。

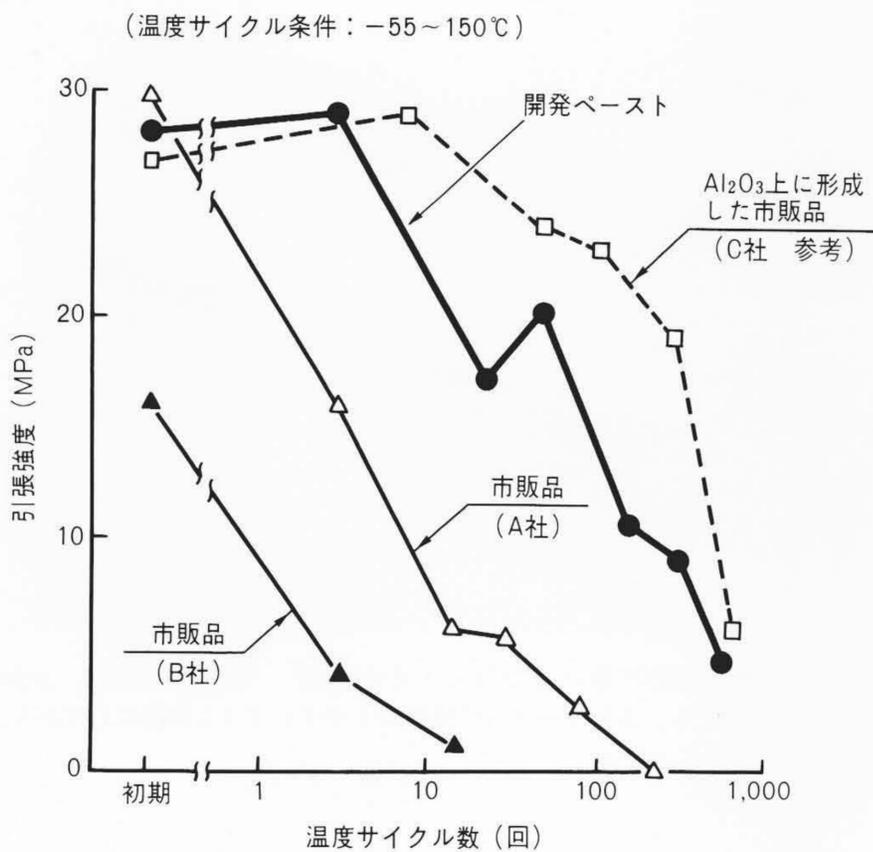


図3 開発導体ペーストの引張強度の推移 温度サイクル試験のほかに150℃高温放置試験も行っているが、開発ペーストに対しては、いずれも良好な強度結果が得られている。

開発した抵抗ペーストの熱ストレスによる抵抗値の安定性を図4に示す。低熱膨張ガラスを多く含む高抵抗ペーストの熱安定性は良好な結果が得られたが、熱膨張係数の大きなRuO<sub>2</sub>を多く含む低抵抗ペーストの熱安定性は良くない。これはAlNとの熱膨張の差により、抵抗膜中にクラックが発生しやすいためであり、低熱膨張率のオーバーコートガラスによって抵抗膜を保護することにより、抵抗値の安定化を行った。

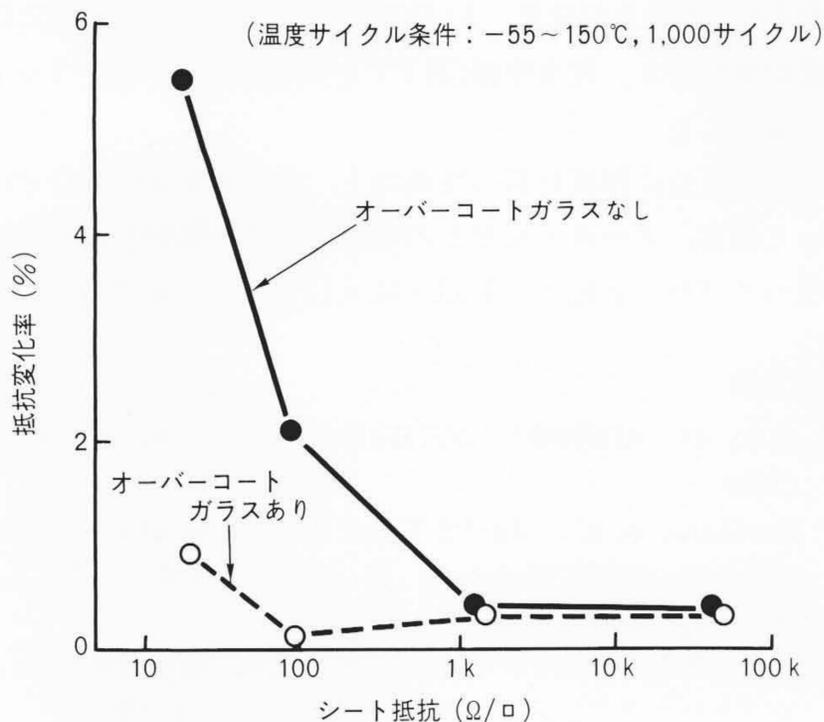


図4 抵抗ペーストの温度サイクルによる抵抗変化率 抵抗変動を抑えるためには、低膨張率のガラスによって抵抗をコーティングするのが有効である。

### 2.3 レーザトリミング

このようにして得られた抵抗値も、初期値が±20～±30%にばらついており、高精度の抵抗を得るためにはレーザトリミングによって調整することが必要である。レーザ光の照射によって抵抗体の一部を瞬時に蒸気化させるが、その際に基板表面にもレーザ光が当たる。そのために過度のレーザ出力を与えた場合には、AlNが分解をし、遊離Alが生成されて抵抗切断部の絶縁抵抗が低下する。一方、レーザ出力が小さ過ぎると抵抗膜が完全に切れず、この場合にも切断部の絶縁抵抗が低下する<sup>4)</sup>。

これらの結果から、レーザ出力1Wでトリミングをすることにより±1%の精度をクリアする抵抗体の形成が可能となった。

## 3 AIN厚膜基板の応用

### 3.1 ビデオアンプ回路への適用例

超高精細カラーCRTディスプレイ用ビデオアンプ回路への適用例について説明をする。CRTディスプレイ(図5)は、CAD/CAM/CAE、EWSなどへの応用が広がり、これに対応するためにはよりきめの細かい高画質の性能が望まれてきた。現在高精細タイプでは、主に解像度1,280×1,024、映像帯域100MHzのものが使用されている。これに使用しているハイブリッドICは、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>基板の上に消費電力3.2Wの駆動用MOS FET(電界効果形トランジスタ)チップを搭載したものである。

この応用分野はさらに高画質化の要求が強く、解像度2,024×2,024を持つ超高精細タイプのディスプレイの開発が必要となった。この解像度に対応するためには、映像帯域は

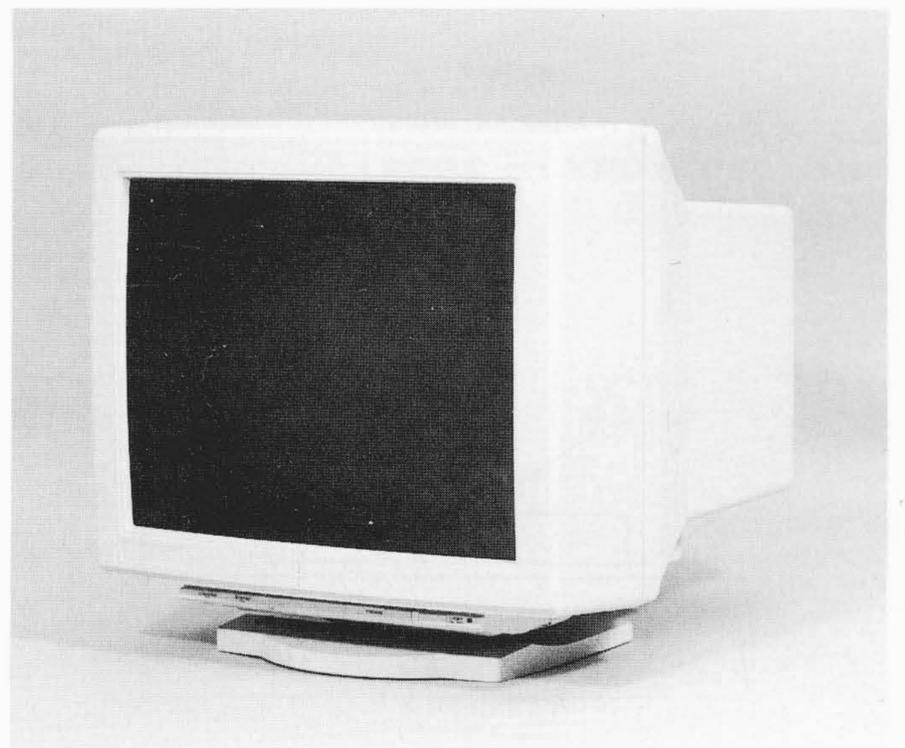


図5 超高精細カラーCRTディスプレイの外観 HMシリーズは多種多様なニーズにこたえるため、この発表によるハイブリッドIC技術などを駆使した幅広いラインアップ化を図っている。

250 MHzに、またMOS FETの消費電力は5 Wが必要となる。

### 3.2 素子の放熱構造

従来形の高出力ハイブリッドICは、パワー素子で発生した熱を銅ヒートシンク、 $Al_2O_3$ 基板を経由して銅ヘッダで逃がす放熱構造となっている(図6)。 $Al_2O_3$ 基板は、パワー素子の絶縁やプリアンプ回路などの周辺回路を搭載するために必要なものである。高精細ディスプレイ用ハイブリッドICにこの構造を適用した場合、熱抵抗は $\theta_{j-c}=8.8$  K/Wが得られている。

しかし、さらに高出力化に必要な超高精細CRTディスプレイ用のハイブリッドICでは、5 K/W以下の熱抵抗が必要となったためこの構造では対応できない。この原因は $Al_2O_3$ 基板での熱抵抗が5.7 K/Wと大きなウェイトを占めているためであり、全体の熱抵抗を大きく下げするためには、熱伝導度の高いセラミック基板に変えるのが有効である。そこで $Al_2O_3$ に代わる材料としてAINを採用し、図7、8に示す放熱構造にすることで熱抵抗を $\theta_{j-c}=2.5$  K/Wに下げることができた。

また、従来形よりもシンプルな素子構造となったため、MOS FETのボンディング長さや回路の配線長を短く設計できるようになり、放熱特性だけでなく、高周波特性に対しても優れたハイブリッドICを開発することができた。

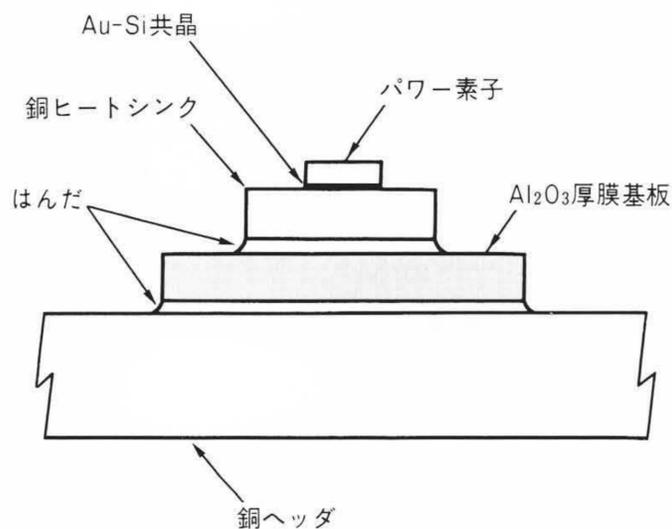


図6 従来形ハイブリッドICの断面構造  $Al_2O_3$ 基板の熱抵抗が大きいため、この構造ではMOS FET(電界効果トランジスタ)に5 Wの消費電力をかけられない。

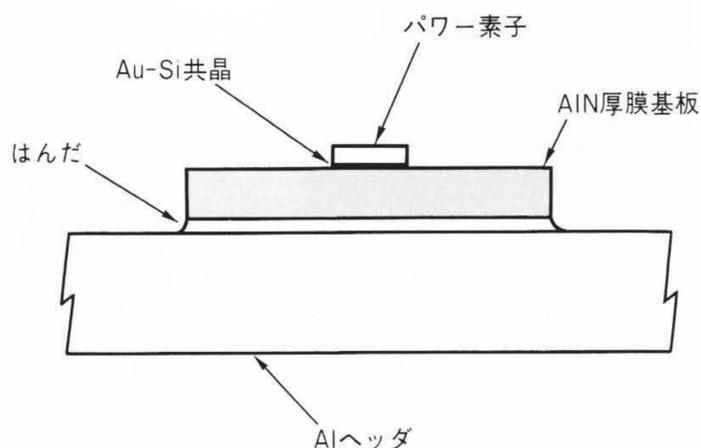


図7 次世代形ハイブリッドICの断面構造 熱抵抗を従来形の $\frac{1}{3}$ に下げることができ、またパッケージ構造も軽量でシンプルにできる。

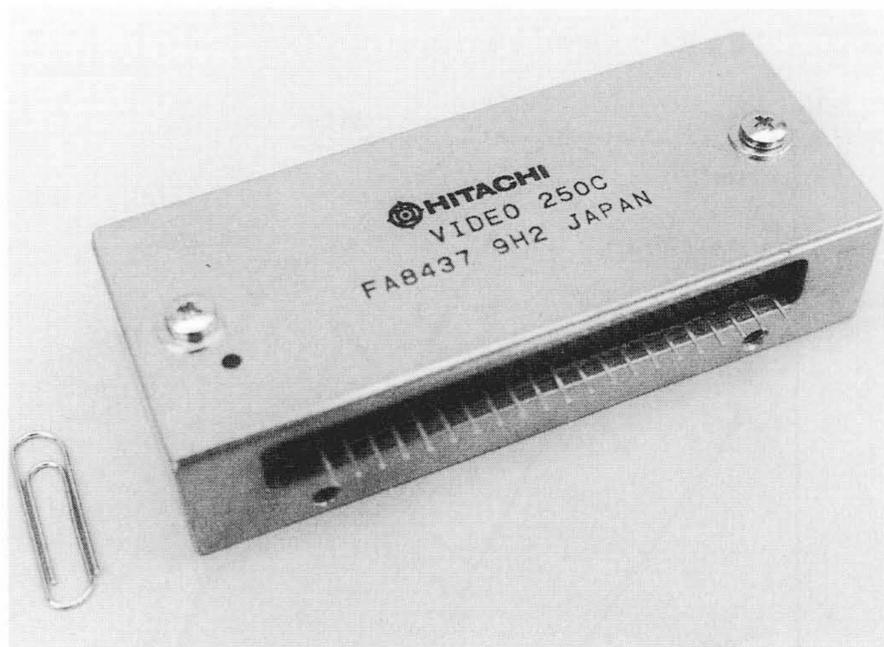


図8 超高精細CRT用ハイブリッドICの外觀 軽量化のため、放熱板の材質をAlとし、またボードへの搭載がしやすいような構造にしてある。

## 4 結 言

AINが高热伝導性材料として登場してからまだ数年しか経過していない。しかし、今までハイブリッドICではカバーし切れなかった新分野に応用できるのではないかと、この期待から大きく注目されている。しかし、期待の大きさに反して実用化は遅れており、実際の製品に適用された事例がなかった。これは、AINのセラミックスとしての歴史が浅いために、エレクトロニクス用材料として使いこなしていくための周辺技術が整っていなかったためである。

今回、ハイブリッドIC化の隘(あい)路となっていた導体形成、抵抗形成、抵抗調整に関する材料およびプロセス技術の開発を行った。その結果、 $Al_2O_3$ 系厚膜基板と同等の性能と信頼性が確認でき、超高精細CRTディスプレイ用ハイブリッドICに適用した。

今後はさらに厚膜材料の性能向上、高密度配線技術などについて顧客、メーカーなどとの協調した技術開発を進め、次世代ハイブリッドICへの適用を拡大していく予定である。

### 参考文献

- 1) 倉本, 外: AIN特集号, HYBRIDS, Vol.6, No.2, 16~46 (1990)
- 2) Kurihara, et al.: Ag-Pd Thick Film Conductor for AIN Ceramics, IEEE Trans. C. H. M. T., Vol.13, No.2, 306~312(1990)
- 3) 栗原, 外: AINセラミックス用厚膜抵抗体, 第3回マイクロエレクトロニクスシンポジウム予稿集, 133~136(1989)
- 4) 栗原, 外: AINセラミックス上の厚膜抵抗体のレーザートリミング, 第3回マイクロエレクトロニクスシンポジウム予稿集, 137~140(1989)