

通信機用薄膜混成集積回路

Thin Film Hybrid IC for Communication Equipment

電話交換機に用いる各種の信号受信器は、コイル、コンデンサで構成していたLCフィルタの小形経済化が望まれていた。

このため、最近の回路技術の進歩を取り入れ、集積化した薄膜抵抗、薄膜コンデンサ、演算増幅器で構成したアクティブフィルタを薄膜混成集積回路として開発した。この薄膜混成集積回路は、微小なはんだボールを用いて約140個の回路接続点を一度に接合することができるはんだ溶融接続法を用いており、組立てが容易で信頼性が高く、昭和53年から日本電信電話公社納入交換機に導入している。

この論文では、この薄膜混成集積回路の構成、製造法、信頼性、特徴などを述べ、また、はんだ溶融接続法を共通技術とした他の混成集積回路についても述べる。

奥原真治* Okuhara Shinji
 亀井常彰** Kamei Tsuneaki
 石 一郎** Ishi Ichirô
 田中正美*** Tanaka Masami
 平塚重利* Hiratsuka Shigetoshi
 松永武彦* Matsunaga Takehiko

1 緒 言

電話交換機への薄膜混成集積回路(以下、薄膜混成ICと略す)の採用は、昭和46年に電子交換機用コアメモリのセンスアンプ、終端抵抗モジュールに薄膜技術を適用したことにより始まった。昭和53年から押しボタンダイヤル信号受信器[以下、PB(Push Button)受信器と略す。]、多周波信号受信器[以下、MF(Multi-Frequency)受信器と略す。]へ薄膜混成IC¹⁾の採用が決まり、薄膜混成ICの適用は成長期に入った。

電話交換機では、稼動寿命20年という長期間、安定な動作、高信頼度が要求され、これに用いる薄膜混成ICも小形・軽量、経済化とともに、優れた安定性が強く要求される。

この論文では、薄膜混成ICを中心として、日立製作所での通信機用混成ICの構成、特長及び応用展開について述べる。

2 交換機における薄膜混成IC

2.1 信号受信器の概要

電話交換機では、図1に示すように、押しボタンダイヤル電話機から送られてくる押しボタンダイヤル信号と、電話交換局相互間の信号伝送に使われる多周波信号を受信識別する

ために、PB受信器、MF受信器を設けている。押しボタンダイヤル信号、多周波信号は、周波数300Hzから3,400Hzの音声周波数帯域内で決められた6～8種類の周波数から組み合わせた二つの周波数成分をもつ。

信号周波数識別のために、従来のPB・MF受信器は個別コイル、コンデンサで構成されたLCフィルタを使用してきたが、小形・軽量、経済化を目的として、次節以下で述べる薄膜混成ICを開発した。

図2にPB受信器を構成する薄膜混成IC化部分の機能ブロック図を示す。一つのPB受信器には8個の薄膜混成ICを含んでいる。図3に、コイル、コンデンサを用いた従来のPB受信器と、薄膜混成ICを用いた新しいPB受信器とを比較した写真を示す。この写真では電源及びインタフェース回路パッケージを省いているが、パッケージ枚数は8枚から1枚に減少し、電源及びインタフェース回路を合わせて容積を $\frac{1}{2}$ に、重量を $\frac{1}{3}$ に改善することができた。図4は薄膜混成ICの取付状況を示す。

2.2 薄膜混成ICの構成とその理由

PB・MF受信器用薄膜混成ICの主な機能は、抵抗、コ

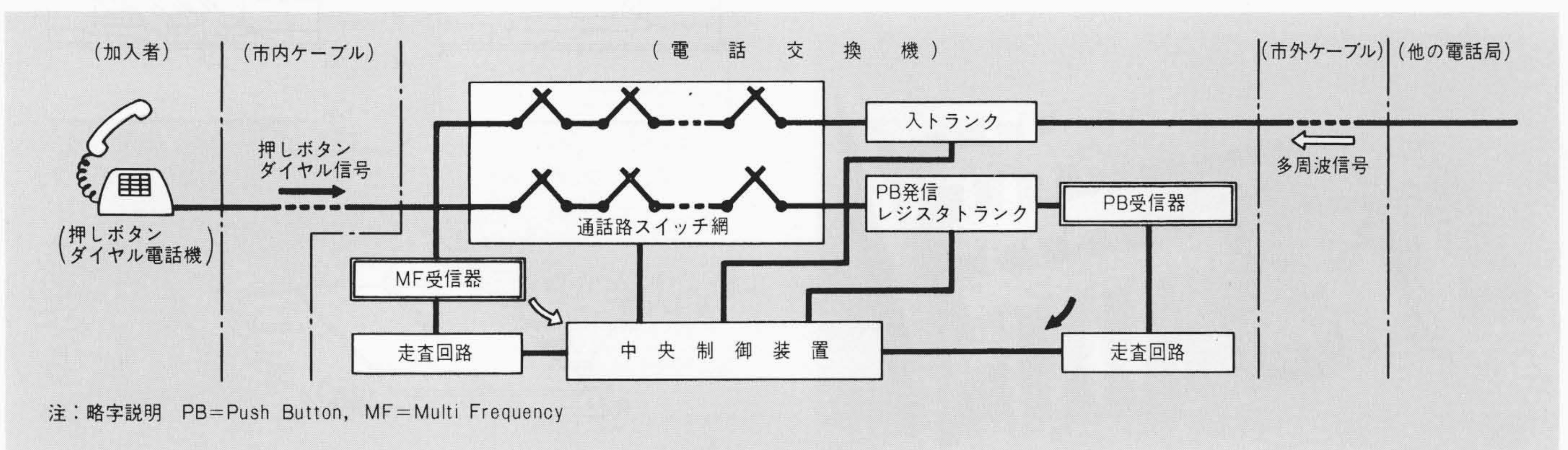


図1 電話交換機における信号受信器 押しボタンダイヤル電話機から電話をかけるとき、相手の番号は電話交換機内のPB受信器で受信識別され、中央制御装置に伝えられる。他の電話局からの交換処理情報は、MF受信器で受信される。

* 日立製作所戸塚工場 ** 日立製作所生産技術研究所 *** 日立製作所デバイス開発センタ

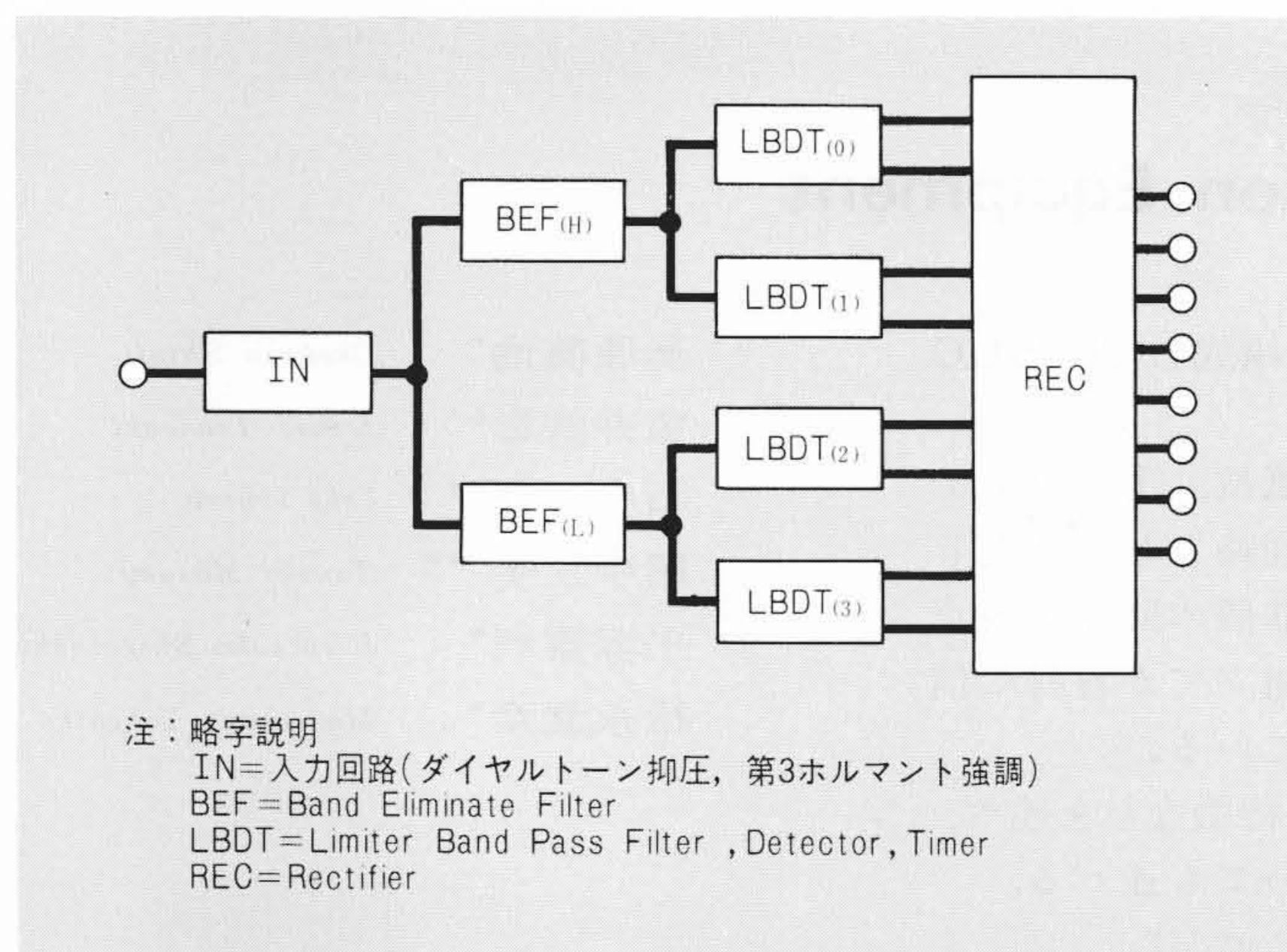


図2 PB受信器の構成 左端の端子に加えられた押しボタン信号は、フィルタで周波数成分を区分けし、識別結果が右の端子にデジタル信号として出力される。長方形は1個の薄膜混成ICを示し、周辺の回路は省略してある。

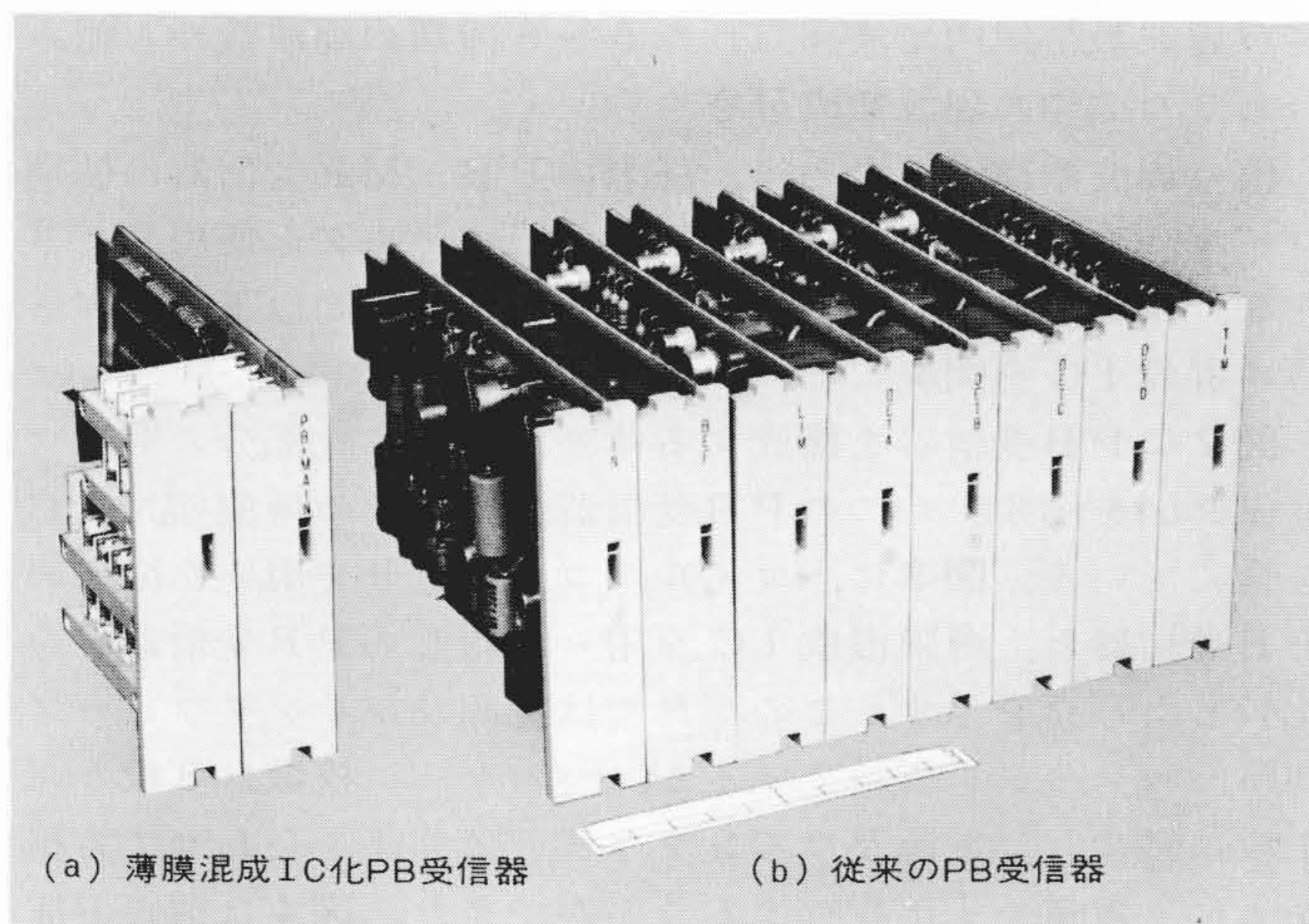


図3 PB受信器 薄膜混成ICを用いたPB受信器(電源、インタフェース回路パッケージを除いて)は、従来のものに比較しパッケージ枚数が少なくなった。

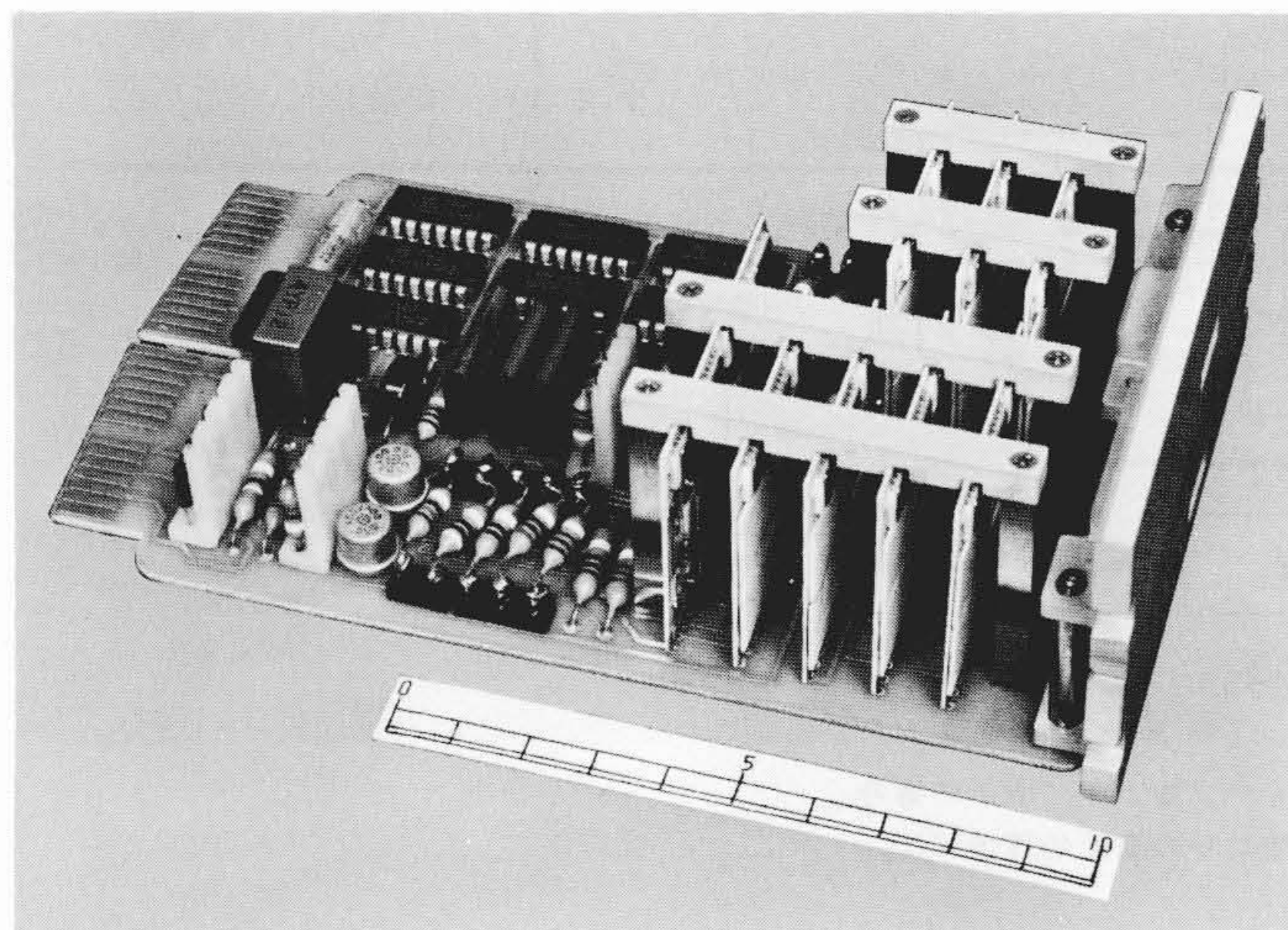


図4 薄膜混成IC化PB受信器 プリント配線板上に、8個の薄膜混成ICを立てて取り付け、1枚のパッケージにしている。

ンデンサ及び演算増幅器で構成したアクティブフィルタである。図5は、二次バンドパスフィルタの回路例を示すもので、一つの薄膜混成ICに二次フィルタを6回路構成することができる。

図6に、薄膜混成ICの斜視断面模型を示す。一つの薄膜混成ICには、抵抗20~42個、コンデンサ6~12個、演算増幅器4~8回路を使用し、それぞれの回路接続点約140個は、直径約150 μ m(演算増幅器)又は約800 μ m(抵抗、コンデンサ)のはんだボールで接合している。抵抗、コンデンサはともに、グレーズドセラミック基板上に形成した窒化タンタル薄膜で作る。このような構成を選択した理由は、次に述べる通りである。

(1) 窒化タンタル薄膜抵抗、薄膜コンデンサは次の長所をもち、優れた安定性を要求する通信機用に最適である。

(a) 特性は表1に示すように高い精度、安定性をもち、厚膜混成ICに用いる抵抗と比較して初期絶対精度、経時変化が1桁以上優れている。

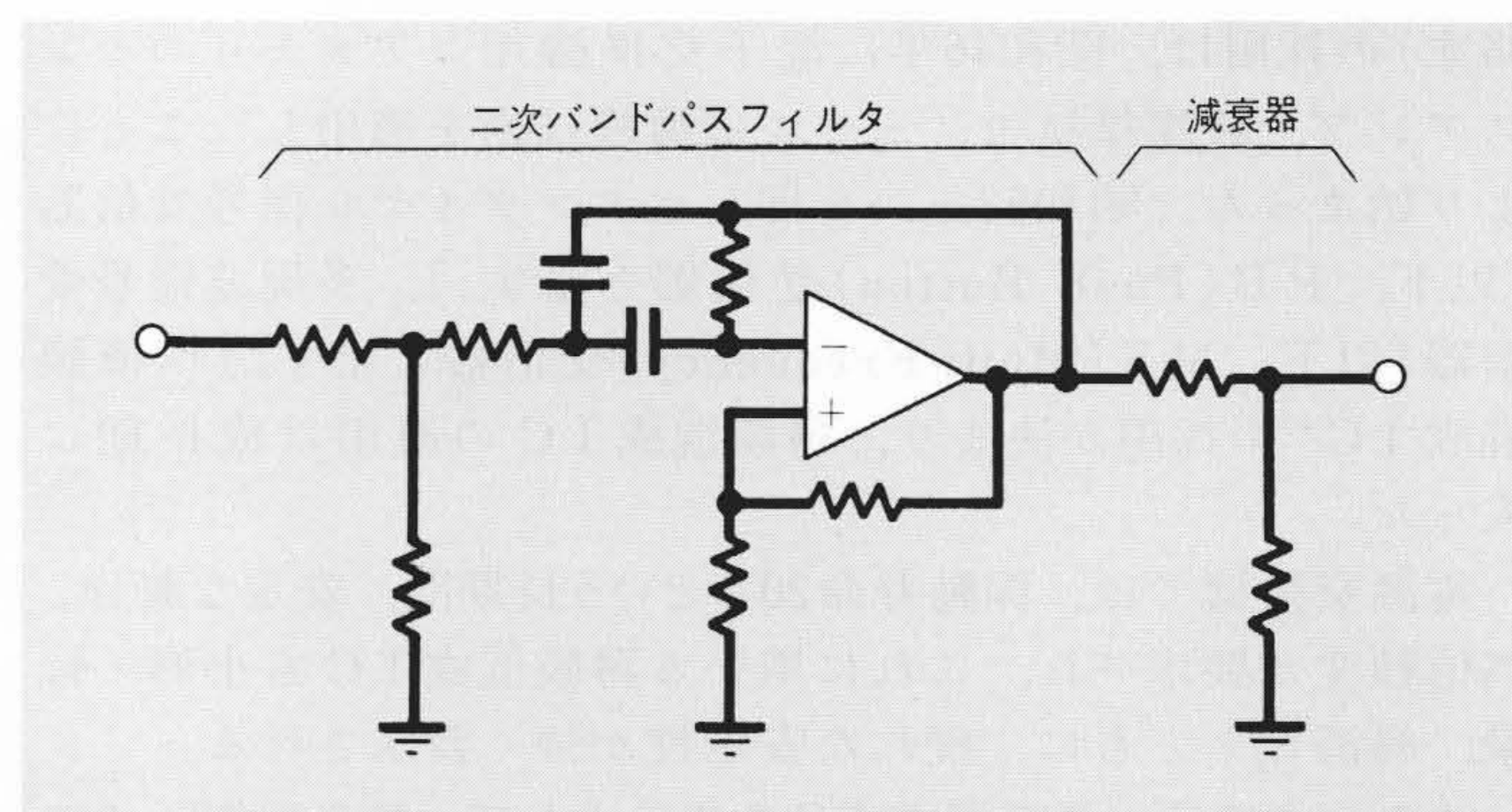


図5 二次バンドパスフィルタの回路 減衰器をもった二次フィルタを示す。1個の薄膜混成ICの中に二次フィルタを6回路集積できる。

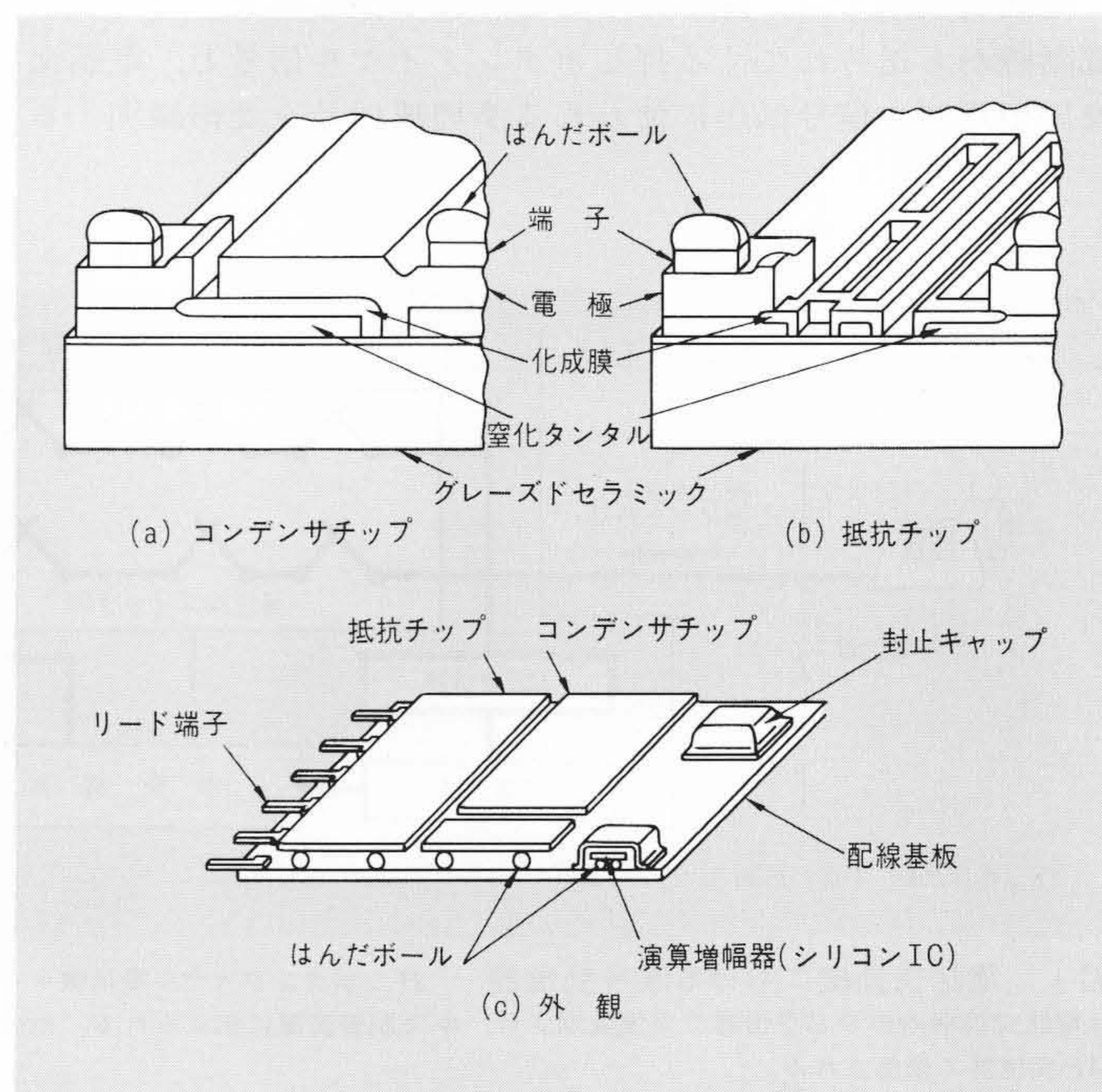


図6 薄膜混成ICの構成 窒化タンタル薄膜で作る抵抗、コンデンサは、一つのセラミックの上に抵抗20~42本、あるいはコンデンサ6個を集積している。各接続点は、微小なはんだボールで配線基板と接続している。

表1 窒化タンタル薄膜抵抗, コンデンサの精度, 安定性 窒化タンタル抵抗, コンデンサは精度, 安定性に優れ, 温度特性は相殺し合う。

	初期絶対精度(%) (トリミング後)	推定経時変化(%) (20年間)	温度係数 (ppm/°C)
窒化タンタル 薄膜抵抗	0.01~0.2	(45°C)0.1	-110~-160
窒化タンタル 薄膜コンデンサ	0.5~1	(25°C)0.1	+120~+140
(参考)酸化ルテニ ウム厚膜抵抗	1	1~2	-50~+100

- (b) 抵抗とコンデンサの温度係数は正, 負相殺することができ, フィルタの周波数温度特性を±40ppm/°C以下にできる。
- (c) 抵抗とコンデンサの製造工程が同一であり, 製造設備の共用化が図れる。
- (2) はんだ溶融接続法^{2),3)}は, 任意数の接続点を一度に溶融接合でき, しかも溶融時のはんだ表面張力で接続位置の自己修正が可能で, 組立精度が±300μm(抵抗, コンデンサ)〜±100μm(演算増幅器)と緩やかである。
- (3) フィルタを薄膜混成ICとして構成することにより, フィルタの特性を自動調整することが可能となる。

2.3 薄膜混成ICの製造方法

薄膜混成ICの製造は, グレーズドセラミック基板上に窒化タンタル薄膜抵抗, 又は窒化タンタル薄膜コンデンサを製造する薄膜形成工程と, 配線基板(厚膜技術によってセラミック板に配線パターンを設けてある。)上に薄膜抵抗, コンデンサ, 演算増幅器を組み立てて特性を調整する組立工程に大

別できる。

表2に, 薄膜形成の主要工程を示す。抵抗とコンデンサでは窒化タンタルの製造条件, 膜の厚さ, 陽極化成条件に違いがあるが, 工程は同一である。表2に示すとおり, グレーズドセラミック基板上に窒化タンタル薄膜を形成し, 陽極化成, 電極形成, 端子形成を行なった薄膜抵抗, 薄膜コンデンサは, 設計値に合わせてレーザ光線による自動調整を行ない, 表1に示した初期精度を得る。これを素子トリミングと呼び, 抵抗のトリミングは, はしご状のパターンの棧を切断して抵抗値を増加させつつ設計値に収束し, コンデンサはあらかじめ並列接続してある調整用のコンデンサを切り離す方法でトリミングを行なう。

図7に完成した抵抗とコンデンサの写真を, 表3に, 組立工程を示す。図8は組立が終わった薄膜混成ICの写真を示すものである。同図(a)の配線基板に設けた3個の窓から, 組立を終えた薄膜混成ICは抵抗を再びトリミングし, フィルタの中心周波数, Q(同調回路の選択性の指標), 利得を自動調整する。これを機能トリミングと呼び, バンドパスフィルタで中心周波数精度±0.01%, 利得±0.1dBに調整している。Qは品種によって異なり, 18~39の値をもつ。

2.4 温度特性

バンドパスフィルタの中心周波数fは, 抵抗RとコンデンサCの積に反比例する。したがって, 中心周波数fの温度係数TCFは, 抵抗の温度係数TCRとコンデンサの温度係数TCCの和, すなわちTCF=-(TCR+TCC)となる。

窒化タンタル薄膜抵抗, コンデンサの温度係数は, 窒化タンタル薄膜の製造条件によって定まる。窒化タンタル薄膜は, アルゴンガス中に窒素ガスを6~15%(容積比)混合した雰囲気

表2 窒化タンタル薄膜形成の主要工程 窒化タンタル薄膜抵抗とコンデンサは, 製造条件の一部に違いがあるが, 加工工程が同一である。

工 程	内 容	構 造 模 型
1 窒化タンタル薄膜 パターン形成	(1) グレーズドセラミック基板上に窒化タンタル薄膜をスパッタリングする。 (2) 写真食刻によりパターン形成する。	(抵抗) 窒化タンタル (コンデンサ) グレーズドセラミック基板
2 陽 極 化 成	端子接続部を除いて窒化タンタル膜面を陽極化成する。 (抵抗は抵抗値粗調整と表面保護膜に, コンデンサは誘電体)となる。	陽極化成膜 (五酸化タンタル)
3 電 極 形 成	金属を全面蒸着後, 写真食刻によりパターン形成する。 (化成膜の上にかぶった電極が, 窒化タンタルとの間にコンデンサを作る。	電 極 (ニクロム, 金 ニクロムの 多層膜)
4 端 子 形 成	(1) マスク蒸着により, 電極の一部に円形の端子を形成する。 (2) はんだボールを乗せて加熱溶融し, はんだ端子を作る。	はんだボール 端子金属
5 素子トリミング	レーザ光線で窒化タンタルを部分的に切断し, 抵抗値, 静電容量値を設計値に合わせて自動調整する。	(等価回路を示す) レーザで切断
6 分 割	レーザ光線でセラミック基板上に溝を加工し, 溝に沿って分割し, チップにする。	溝を加工し割る。

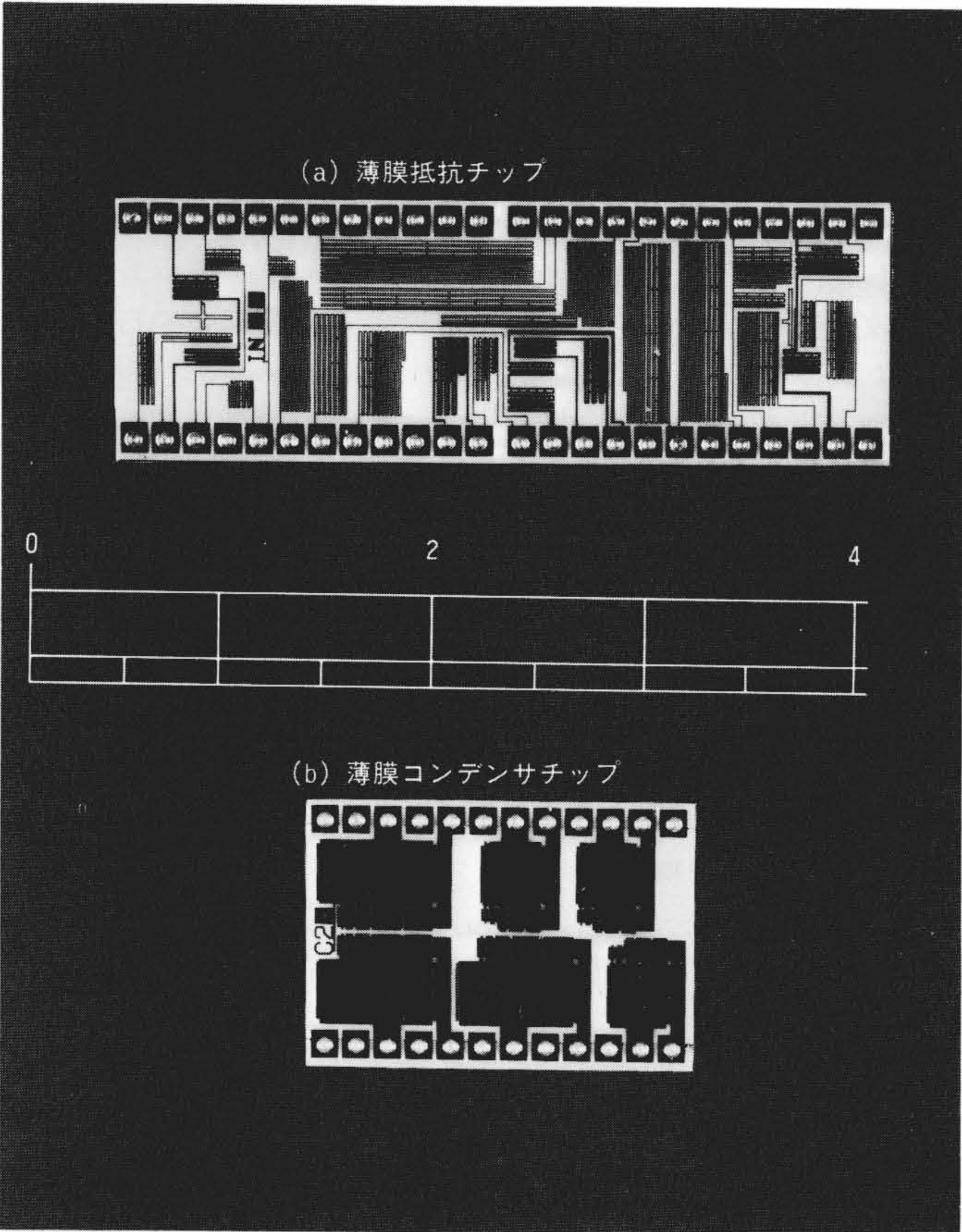


図7 薄膜ICチップ コンデンサチップは、長さが抵抗チップのちょうど半である。

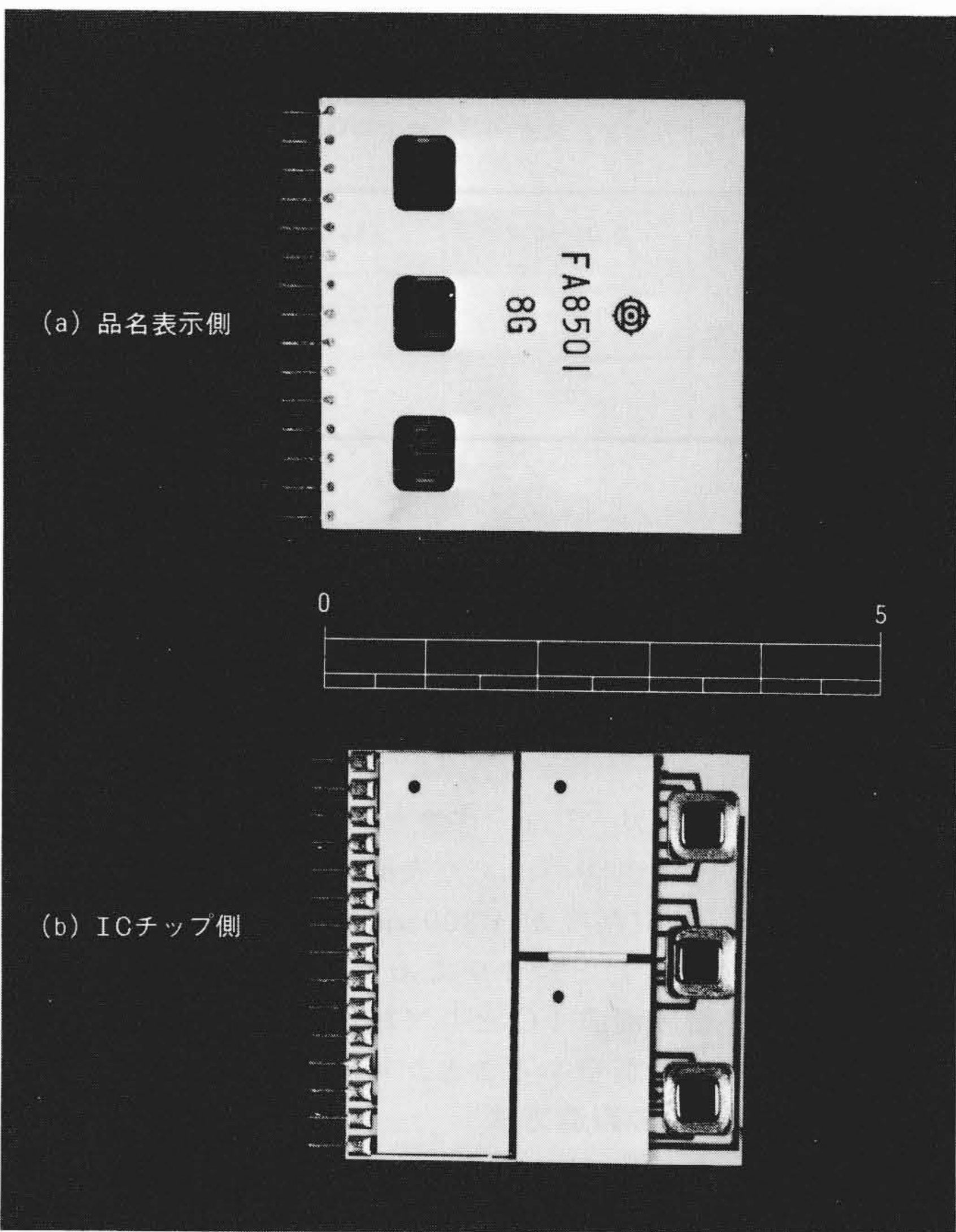


図8 薄膜混成IC(樹脂コーティング前の外観) (a)の写真にある三つの窓は、フィルタ特性自動調整用に配線基板にあけた穴である。窓から抵抗チップのパターンが見える。

気で行なう反応性スパッタによって、タンタルをセラミック基板上に付着させたものであり、図9に窒素ガス混合比と抵抗コンデンサの特性の関係を示す。同図のように、コンデンサは温度係数 $TC C$ が $+130 \text{ ppm}/^\circ\text{C}$ のとき、損失 $\tan \delta$ (誘電正接) が最小となる。抵抗の温度係数 $TC R$ を $-130 \text{ ppm}/^\circ\text{C}$ で製造することにより、フィルタの温度特性は $TC F \cong 0$ にできる。

実際の製造に当たっては、 $TC R = -130 \text{ ppm}/^\circ\text{C}$ の抵抗は

図9(a)から分かるように、窒素ガス混合比の変動を受けやすい領域にあり、スパッタ装置のガス混合系、スパッタ電源系の自動制御を実施することによって安定化している。

2.5 信頼性

薄膜混成ICは、長期安定稼動を実現するため、製造工程中で各種スクリーニングを行なうほか、信頼度試験を実施して品質を確認している。

図10に、MF受信器に使用するバンドパスフィルタを試料と

表3 薄膜混成IC組立工程 機能トリミング工程では、レーザ光線によりフィルタの特性を自動調整する。

工 程	内 容	構 造 模 型
1 組 立	(1) 配線基板に迎えはんだをする。 (2) はんだフラックスを塗布し、抵抗コンデンサ演算増幅器を配置する。 (3) 約330°Cの炉中を通過させる。	
2 封 止	(1) 配線基板上に金すずはくを置き、封止キャップを重ねる。 (2) 還元性ガス中で加熱封止する。	
3 機能トリミング	フィルタの特性を自動調整する。	
4 コーティング	樹脂をコーティングする。	

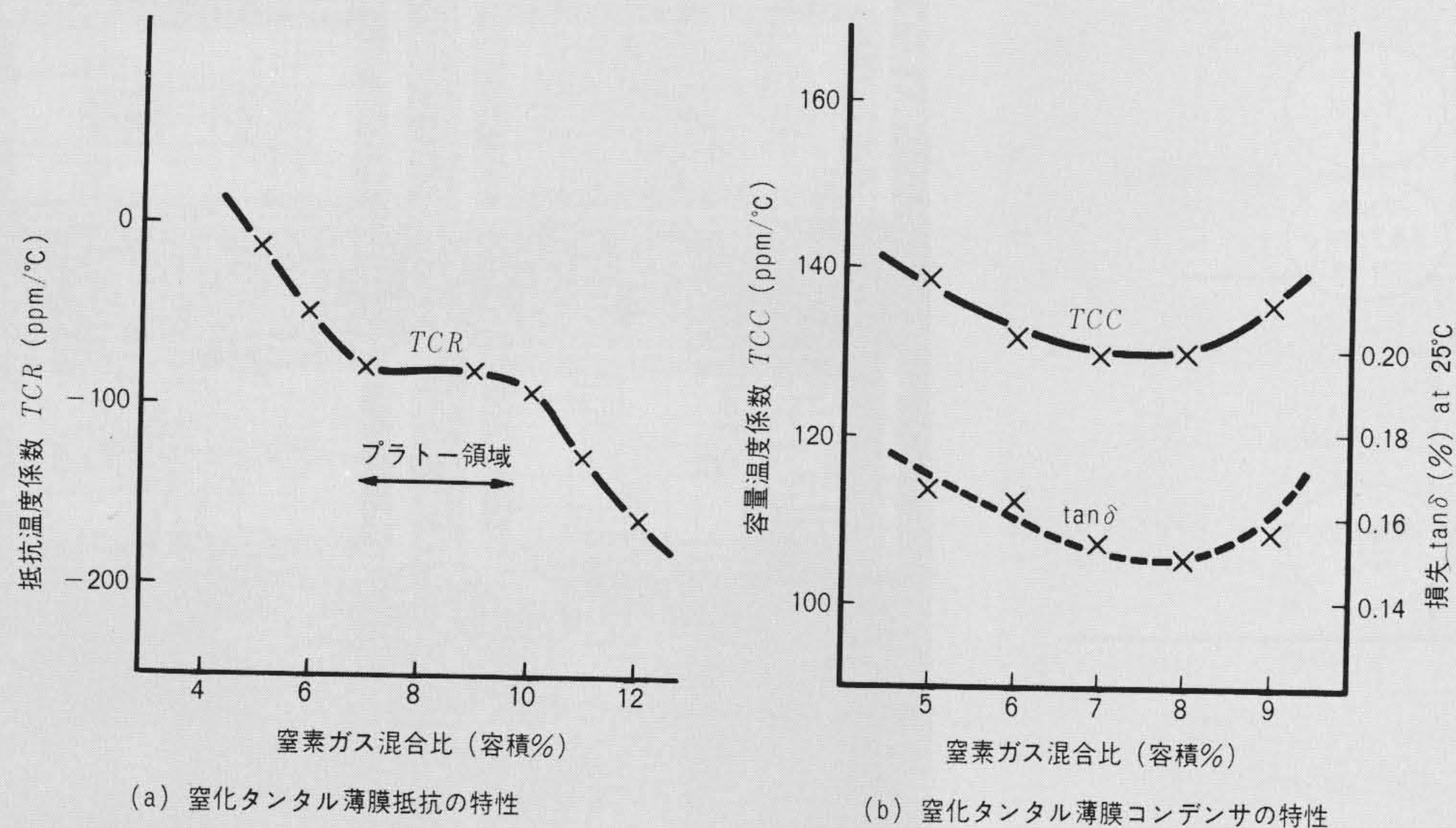


図9 窒化タンタルの製造条件と膜特性の関係
コンデンサは温度係数 TCC が約 $130 \text{ ppm}/^\circ\text{C}$ のとき、損失 $\tan \delta$ (誘電正接) が最も良い。これと温度係数を相殺できる抵抗の製造条件は、プラトー領域をやや外れ、精密な製造条件制御が必要である。

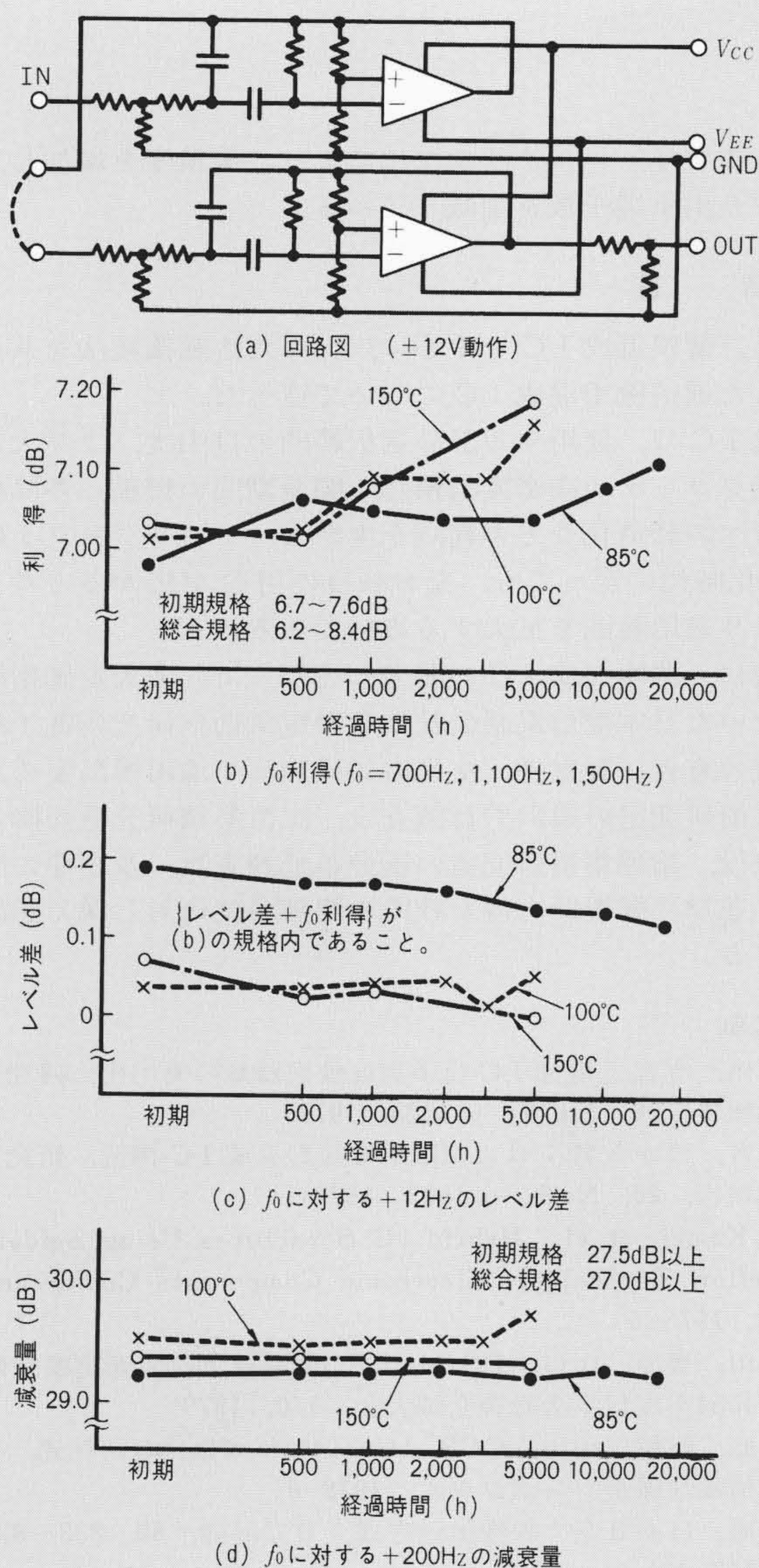


図10 薄膜混成ICの寿命試験結果 1.6×10^4 時間を超えて特性変化は 0.15 dB 以下であり、初期規格をも満足する。

した寿命試験結果⁴⁾の一例を示す。中心周波数 f_0 での利得変化は周囲温度 85°C 、 1.6×10^4 時間で平均 0.15 dB 以下であり、 f_0 に対する $(f_0 + 12) \text{ Hz}$ のレベル差はわずかながら対数的な変化が認められるが、20年間を推定しても初期特性規格を満足し、実用に十分耐える。

また、薄膜混成ICで用いているはんだ溶融接続法の信頼度は、端子金属を耐はんだ性に優れたロジウム、ニッケルで構成したこと、端子金属との反応速度が遅い95%鉛・5%すずのはんだを使うこと、及びチップと配線基板の熱膨張係数の差により温度変化時に発生するはんだの疲労を防止するためのはんだ体積、端子面積の設計技術とによって、 40°C で $0.1 \text{ Fit}^{*1)}$ 以下^{2), 3), 5)} が期待できる。

3 薄膜混成ICの特長と応用展開

前章で述べた窒化タンタル薄膜を用いた薄膜混成ICの特長を再度要約すると次に述べるとおりである。

(1) 高精度、安定性

窒化タンタル膜自身が備えた優れた安定性と、トリミングの影響を極力防止するパターン設計手法及び品質管理によって、高い絶対精度、安定性が得られる。

(2) 抵抗、コンデンサの温度係数

抵抗は負、コンデンサは正の温度係数をもつ。抵抗、コンデンサの積で特性が定まるフィルタ及びタイマでは、総合温度特性が0に近い。

(3) はんだ溶融接続法

微小なはんだボールによる全接続点を一度に溶融接合するこの方法は、溶融時のはんだ表面張力でチップの接続位置自己修正が可能で、組立精度を緩和でき、製造が容易で高い信頼性をもつ。

薄膜混成ICは、薄膜技術による抵抗、コンデンサ、厚膜技術による配線基板と、モノリシックIC技術による演算増幅器から構成した混成ICであって、関連技術と対比すれば図11に示すようになる。同図から分かるように、薄膜混成ICは他に比較して格段に高い精度をもち、アナログ回路を中心

*1) Fitとは、Failure Unitの略で、 10^9 時間当たりの故障率をいう。

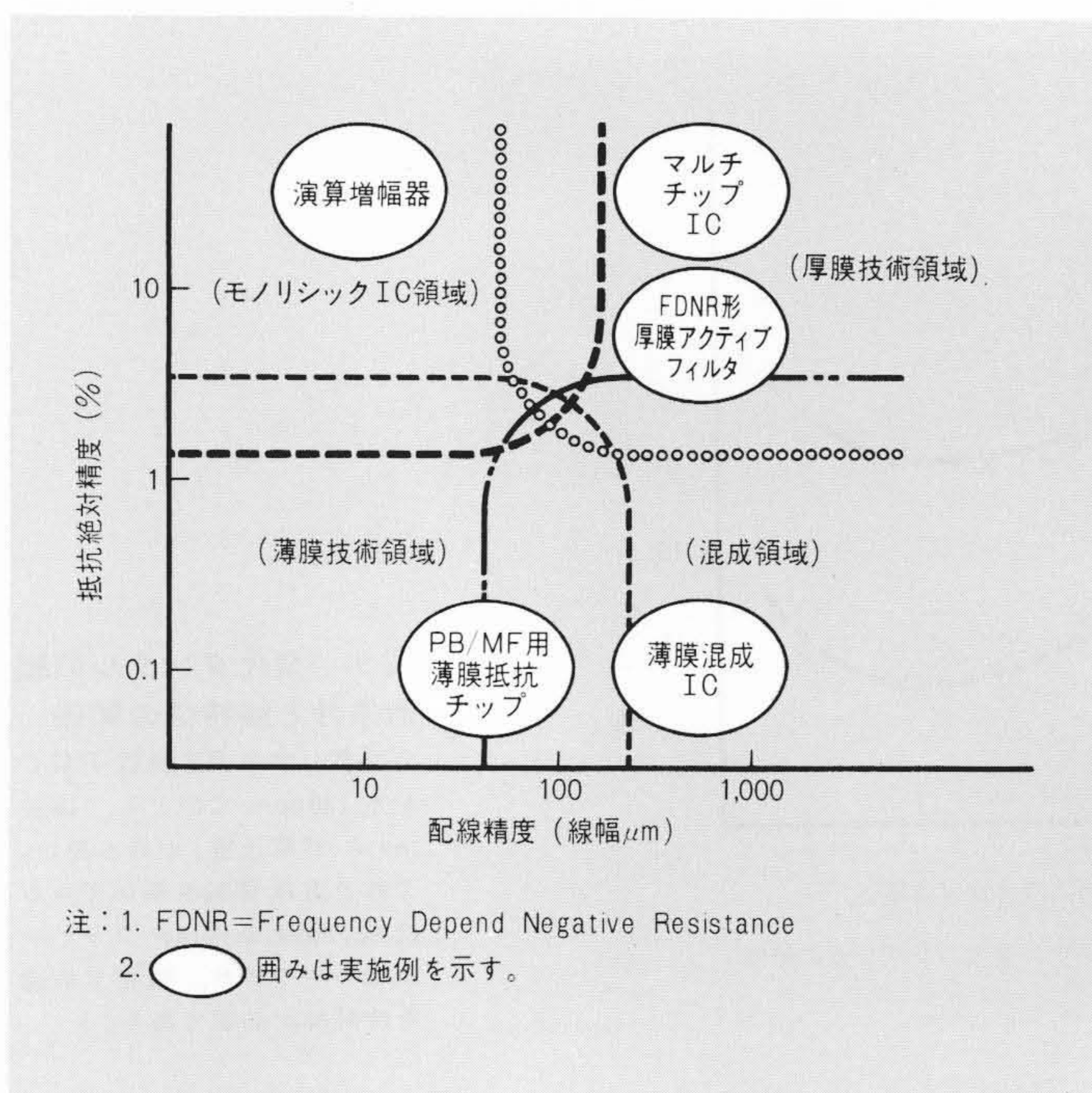


図11 抵抗、配線精度からみたIC技術の適応領域 薄膜混成ICは、モノリシックIC、厚膜混成ICに比べ1桁以上高い抵抗絶対精度をもつ。

として通信機用に広く用いられている。

図12は、前記の特長(1)、(3)を生かした他の実施例であり、映像伝送用中継器に使用する能動等化器⁶⁾を示す。

図13は、前記(3)の特長をマルチチップICに応用したもので、電話交換機の半導体クロスポイントスイッチ⁷⁾の例を示す。

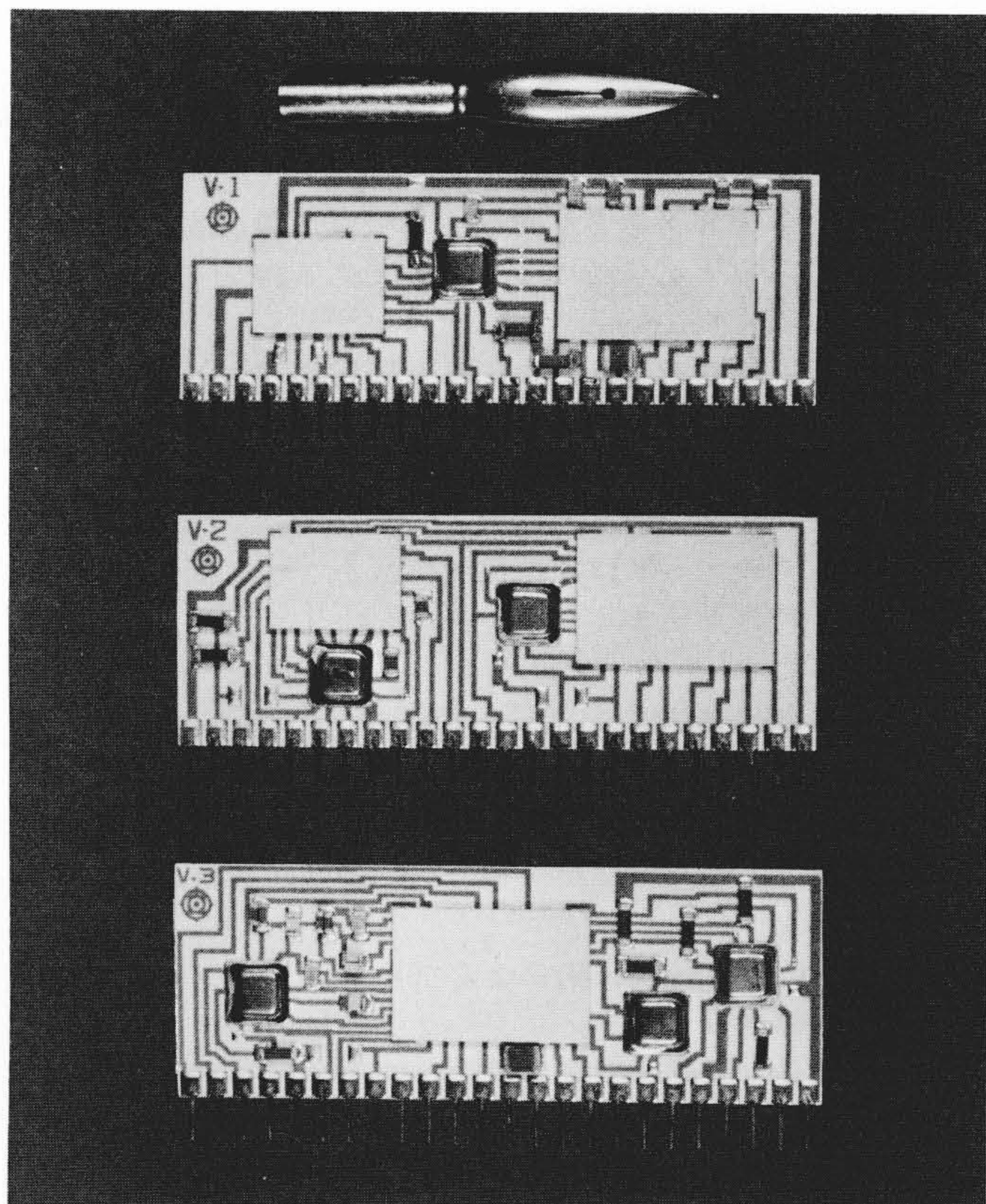


図12 薄膜混成ICの応用例 映像伝送用中継器に使用されており、平衡-不平衡変換回路と各種の能動等化器で構成されている。

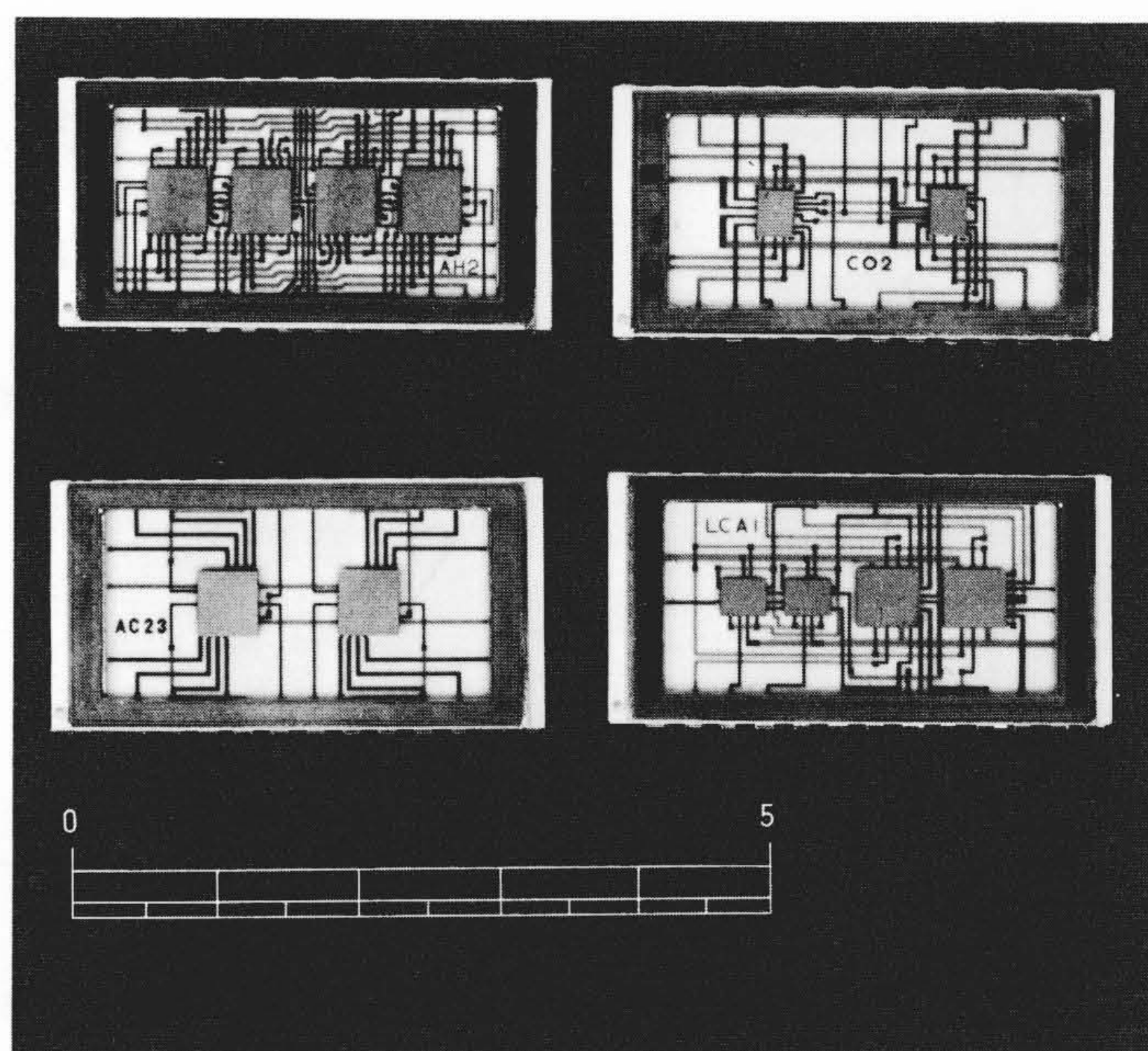


図13 はんだ溶融接続法のマルチチップICへの適用例(シーリング前の外観) 電話交換機の半導体クロスポイントスイッチをマルチチップ混成ICとし、集積度を向上してプリント板実装密度の向上を図ろうとした例を示す。

す。ここでは、マルチチップ化によって集積度を増加し、外部に取り出す端子数を削減している。

4 結 言

以上、薄膜混成ICを中心に、はんだ溶融接続法を共通技術とした通信機用混成ICについて述べた。

混成ICは、使用する部品選択範囲の自由度、より大規模な機能ブロックの高密度集積化、開発期間の短縮、多品種少量生産への経済化などの利点を生かし、モノリシックICのLSI化時代に至っても、なお独自の用途が広がると考えられ、より適用範囲を拡大する方針である。

最後に、薄膜混成ICの開発に当たって、多大な御指導をいただいた日本電信電話公社武蔵野電気通信研究所電子回路研究室の有吉 昶室長、交換方式研究室の池田博昌室長、電子管技術研究室の黒沢秀行調査役、記憶集積研究室の柳川文彦調査役、論理集積研究室の道券正延調査員、及び他の関係各位、並びに御援助を得た社内関係各位に対し深く感謝申しあげる。

参考文献

- 1) 池田, 有吉: 混成IC化多周波受信器類の実用化, 研究実用化報告, 26, No. 6, p. 1525, (1977)
- 2) 有吉, ほか3名: はんだ溶融接続形混成IC構造, 研究実用化報告, 26, No 6, p. 1603, (1977)
- 3) T. Kamei, et al.: Hybrid IC Structures Using Solder Reflow Technology, Electronic Components Conference 78, (1978-5)
- 4) 林田, 奥原, 山口: PB/MFREC用混成ICの安定度試験, 昭和54年度信学会総合全国大会, 170, (1979)
- 5) 桜庭, 鈿持, 小川: CCB ICの信頼性評価, 日科技連, 第8回信頼性保全シンポジウム (1978-6)
- 6) 柿原, ほか3名: 映像伝送方式, 日立評論, 60, 833~838 (昭53-11)
- 7) 菊地, 迎町, 児島: 高耐圧PNPN通話路の伝送特性の検討, 信学会交換研究会, SE77-68, (1977-9)