
マイクロモジュール特集

マイクロモジュール技術の展望.....	85
マイクロモジュール用基板と抵抗.....	89
マイクロモジュール用タンタルコンデンサの交流特性.....	97
マイクロモジュール用セラミックコンデンサ.....	103
マイクロモジュール用水晶振動子およびインダクタ.....	107
マイクロモジュール用半導体.....	111
マイクロモジュール組立上の問題.....	116
家電製品およびスタジオ機器のマイクロモジュール化.....	121
通信およびデジタル装置のマイクロモジュール化.....	130
今後のマイクロモジュール技術の検討.....	139

マイクロモジュール技術の展望

An Outlook on Micromodule Techniques

関 口 存 哉* 西 村 孟 郎**
Ikuya Sekiguchi Takeo Nishimura

内 容 梗 概

電子工業の発展は常に小形化の方向をたどって来たが、今日のように小形化技術の急速な進歩を遂げるにいたった原因として、トランジスタの発明と、主としてアメリカにおける航空機、宇宙機器のめざましい進歩による軍事技術の要求があげられる。超小形化の利点は4項目に大別できるが、マイクロモジュール方式はこれらの利点を含んだ本格的な超小形化方式として最も早く実用化が期待された。本方式は1958年4月から Army Signal Corps と RCA 社が協同で研究開発をはじめ、今日までに多くの成果が報告されている。マイクロモジュール方式は各種部品の縦、横寸法を統一し、高さに自由度をもたせたもので、機能ブロックもこのような部品を積み重ね、樹脂モールドして完成される。この方式は精度の高い、値の広い部品ができるため、応用し得る回路の範囲が広く、通信、ディジタル、映像回路などの各分野にわたっており、信頼度は RCA 社において立証されている。今後マイクロモジュール化を進めてゆくうえの問題点としては、価格の低減と、薄膜および半導体技術を導入しさらに小形化の程度を高めてゆくことであろう。

1906年 De. Forest の3極管発明以来、電子工業の発展は、常々小形化への道をたどってきたといえるであろう。たとえばわれわれに身近なラジオ受信機について例をとると、第2次大戦前の達摩管と呼ばれる真空管を使った密柑箱のようなラジオから、戦後のGTあるいはMT管を使用したスマートな小形のプラスチック製キャビネットラジオに変わり、さらに最近ではポケットブルなトランジスタラジオが真空管式ラジオに全面的にとってかわろうとしている。このように戦後、小形化技術の飛躍的進歩を遂げる原因を作ったものはなんと言っても Shockley グループによるトランジスタの発明に負うところが大きいのであるが、アメリカにおける航空機、宇宙機器のめざましい発達に伴う軍事技術の要求がこれを育成する基盤となっていることも事実であろう。第2次大戦中におけるプリント基板あるいは近接信管の開発は、近代技術の小形化への芽ばえとして、よく引き合い⁽¹⁾に出されるところであるが、いずれも軍事技術の要求から生まれたものであった。このように超小形化技術は軍事技術を中心として進歩を続けて来たのであるが、この歩みが一般電子機器にも大きな変革をもたらすであろうと言うことが次第に技術者たちの中で認識されるようになり、アメリカにおいては1958年ころから急速に研究熱が高まった。

一方欧州ではイギリスにおいて Royal Radar Establishment を中心に、国家的見地からとりあげるべき超小形方式の範疇（はんちゅう）の検討を行ない、能率よく研究を進めている。このような行き方はわが国としても大いに参考とすべきところであろう。

欧州大陸においては独仏伊の諸国によって軍事を離れた研究が行なわれているが、わが国と同様戦後の混乱や、さしせまった要求もないためあまり活発な動きもないようである。IEC においては1962年10月、コペンハーゲンで開かれた TC-47 グループの会議において標準化のためにとりあぐべき部品の審議を、1963年には重要用語、超小形方式の分類などについて検討を行なっている。

わが国においては技術的後進性もあり、アメリカにおいてはなばなしい成果が報告されはじめた1959～1960年ころから急激に開発の機運を生じ各社いっせいに研究を開始した。1963年にはこのような機運にこたえ、わが国の超小形技術の推進に寄与する目的をもって、日本電子工業振興協会主催の超小形回路分科会が発足し、アメリカにおける超小形電子部品およびブロックの技術的紹介、海外文

献の翻訳などに活動を開始している。1963年秋の電気通信学会には超小形に関するシンポジウムが設けられ活発な討論が行なわれた。

しかし超小形化技術開発の初期における熱狂的なとりあげ方や、夢想的な将来への期待から、現在は冷静な基礎的技術開発への努力と応用分野の開拓の段階にはいり、将来への見通しも次第に地についた堅実なものとなって来た。また乱立した各種の超小形方式も、ほぼ2～3の基礎的範疇（はんちゅう）に類別せらるにいたった。

このように世界的に注目を集め、多くの人々により研究開発の努力が続けられつつあるマイクロエレクトロニクスのおもな利点はほぼ次の四つに集約される。

(1) 電子回路を従来のものに比し、寸法および重量について1/10～1/1,000とすることが可能である。

小形軽量化はいずれの場合においても望ましいことはいうまでもないが、航空機宇宙機器などに搭載する装置においては特にこの要求が強い。また一方小形軽量化により耐震性を向上するなどこれに付随する他の多くの利点が生まれてくると考えられる。

(2) 信頼性の向上が可能である。

超小形化の目的は信頼度の向上にあり、寸法構造の小形化は副産物であるとまで言われるほど信頼性の向上に重点がおかれている。すなわち部品の極度に接近した構造で、部品間の接続は回路の構成時に同時に行なわれ、ハンダ付けあるいは溶接端子は外部回路との接続点のみとなし得るため信頼度を低下させる一つの大きな原因であった接続端子の問題を極端に少なくできる。また超小形化のために開発された新技術および材料は信頼性を高める原因となる。

(3) 高度の生産性に対する潜在的能力を有する。

回路の構成は十分に精選された基板材料のうえに同時に多数個のものが行なわれ、これらの工程は技術の向上と相まって自動化されるであろうと考えられる品質の高い、均一なものを量産できるとことが予想される。これは将来の価格低減の可能性を含んでいる。

(4) 保守、交換が容易である。

超小形化に伴い当然回路構成の最小単位は部品でなく、機能回路と考えられる。機器の保守は従来のように部品の1品1品の交換でなく機能回路または機能回路の集合体となるので、保守交換の手間が省ける。このため、機能回路全体を廃棄することになるので、長寿命低価格などが必要となるが、超小形化技術において

* 日立製作所中央研究所 工博

** 日立製作所中央研究所

はこのいずれに対しても潜在的能力を有している。

このような利点をもったマイクロエレクトロニクスの中でマイクロモジュール方式は本格的なマイクロとして最も早く実用にはいるものとして期待された。この方式はアメリカにおいて、1958年4月 Army Signal Corps が RCA 社を主契約会社として主要メーカー20社以上を結集し、マイクロモジュール生産計画を立案し、部品、材料、応用回路、機器および生産技術などの広範囲にわたる研究開発に着手している。本計画は超小形モジュール構造の電子回路と、この新しいモジュール構造の設計技術を確立することにあつた。将来のアメリカ陸軍における電子装置のほとんどがこのマイクロモジュール構造になるものと予想される。またこのような構造を用いた電子装置の信頼性が大幅に向上し得ること、寸法重量および保守の手間が減少し得ることなどが期待される。1964年3月までに部品、モジュール、装置など多方面にわたる成果が報告⁽²⁾されている。通信機およびデジタルを含めた10素子よりなるモジュールの MTBF は498,000時間と報告せられており、目標とした MTBF 75,000時間を大幅に上回っている。試作された代表的な装置としては、携帯用小形無線機 AN/RRC-51⁽³⁾ および小形計算機 Micropac⁽⁴⁾ (Micro-module Digital Data Processor And Computer) がある。

わが国においても、1960年ころから部品の開発がはじめられ1961年にはブロックおよびマイクロモジュール化した電子機器が試作されるようになった。真空管からトランジスタと変わった時期が小形化の大きな変換期であるが、超小形化は次の大きな変換期である。回路の超小形に合わせて入出力部品、電池、空中線、機構部品などの小形化に関しても、技術の飛躍的な向上が必要となるし、また保守交換の面より見てもある回路的機能をもったいわゆる Function Block を単位とする交換、または機器を単位とする交換といった方向に漸次変わって行くであろう。このほか機器の構成、構造、熱的問題などに新しく検討すべき点が多く生ずる。

このような電子機器の超小形化において生ずる新しい問題は今後需要者各位とメーカー間で協力し解決してゆかなければならない。特に日本ではアメリカのように超小形化の技術を強力に推進する軍需の背景が少ないので一般工業、民需を対象とする実用化は真剣に考える必要がある。

1. マイクロモジュール方式の基本的概念

マイクロモジュール方式の基本的な考えは部品素子と回路の寸法を統一することにある。モジュールとは建築などで用いられる基準単位のこと、たとえば畳はその代表的な例である。従来の回路部品では、個々の部品の寸法が異なっているために、部品密度を向上しようとしてもむだな空間が生じ、また配線が混みあって生産性が悪くなる。

まず部品の寸法を規格統一する場合に部品によって必要とする容積に違いがあるので3次元の寸法を全部決めるとむだで無理である。したがってその1次元の寸法、または2次元の寸法を統一し、他の寸法に自由度を与えるという考え方が自然にできる訳であるが、ここで各種の小形方式の差違が生れてくる。

たとえばアメリカにおいて現在なお使用されている高密度実装方式 (Cord Wood 方式, Sandwich 方式など) は従来の部品形状のものをそのまま用いるが、リード線を含めてその長さのほうをなるべく一定にして、これを並行にならべて行くやりかたをとっている。すなわち1次元の寸法の規準化を行なっている例である。

また回路部品を一つの平板上に並べ、2次元的に回路を構成するいわゆる 2-D (2 Dimensional) 方式は考えかたとしては、部品の厚さをなるべく一定にしてその2次元の広がりにも自由度をもたせたものと考えてよいであろう。この方式では1個でも厚みの大きい部品

があると空間にむだが生ずる。ところが抵抗のようなものは薄膜により相当薄くできるからそのほかの素子もこれに合わせて薄膜化し厚さをそろえないと他の方式と比較して有利にならない。したがって 2-D 方式では薄膜技術の開発が最も重要な課題である。

以上の方式に対し、マイクロモジュール部品では、2次元の寸法を規準化するところに特長がある。厚さの方向に自由度をもたせてあるので、必要なほとんどの部品素子が従来の技術の延長で製作することができる。インダクタ、トランス、または大容量のコンデンサなどは現在の技術ではまだ抵抗のように薄く作ることが困難であるがマイクロモジュールではこの点が他の方式に比べかなり軽減されている。

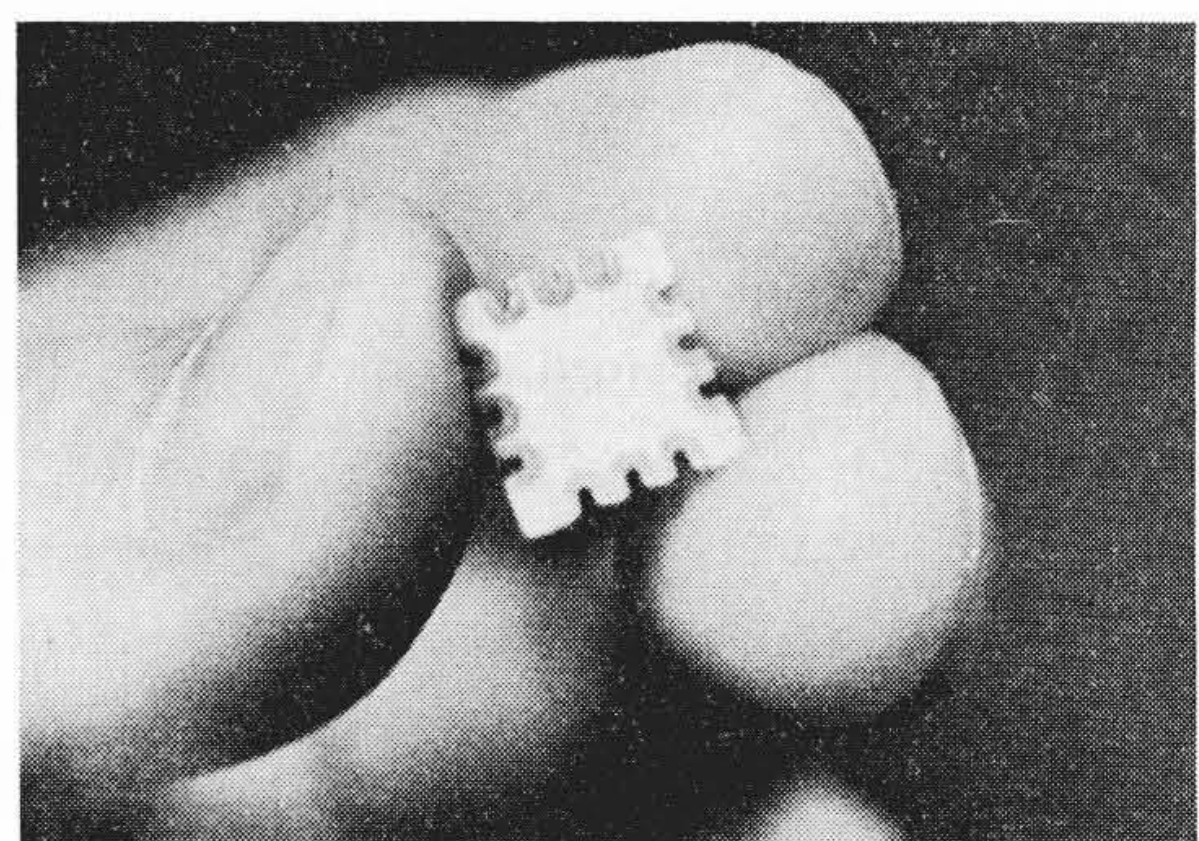
次に回路の超小形において一つの重要な問題は部品素子間の配線である。配線が複雑で手工業的にしか生産できないものでは量産による価格の低減は望めない。この点各種の超小形化方式でそれぞれ独自の工夫があり、それぞれ一長一短がある。マイクロモジュールでは部品の2次元の寸法が統一されているので、部品を重ねその端面を12本のリード線により接続する構造になっており配線の自動化が可能である点量産に向いている。

組立配線の終わった回路は、中間周波増幅器あるいはフリップフロップなどの単位機能を構成し、防湿と強度の増加の目的で樹脂によりモールドし、これをマイクロモジュールブロックと称する基準単位とする。したがって販売、保守交換の単位は個々の部品ではなく、回路機能を有するブロックである。部品の寸法が規格化されているのでブロックの寸法もほぼ規準化され、規準化されるような設計が必要である。すなわち縦、横1cm、高さは回路により若干異なるが約1.5cm程度の立方体が一つの単位となる。機能回路ブロックが売買の単位となることは、ほかの2D方式、固体回路方式などと共通であるがただその生産性に関しては若干異なる面がある。2D方式あるいは固体回路方式のように部品と回路が一体化されており、それらが同時に製作される方式では、生産技術の向上は生産性に重要な影響を与えるが、マイクロモジュールのように部品が別々に製作され、これを組み立てる形式のものでは組み立ての生産性を向上することは比較的容易である。

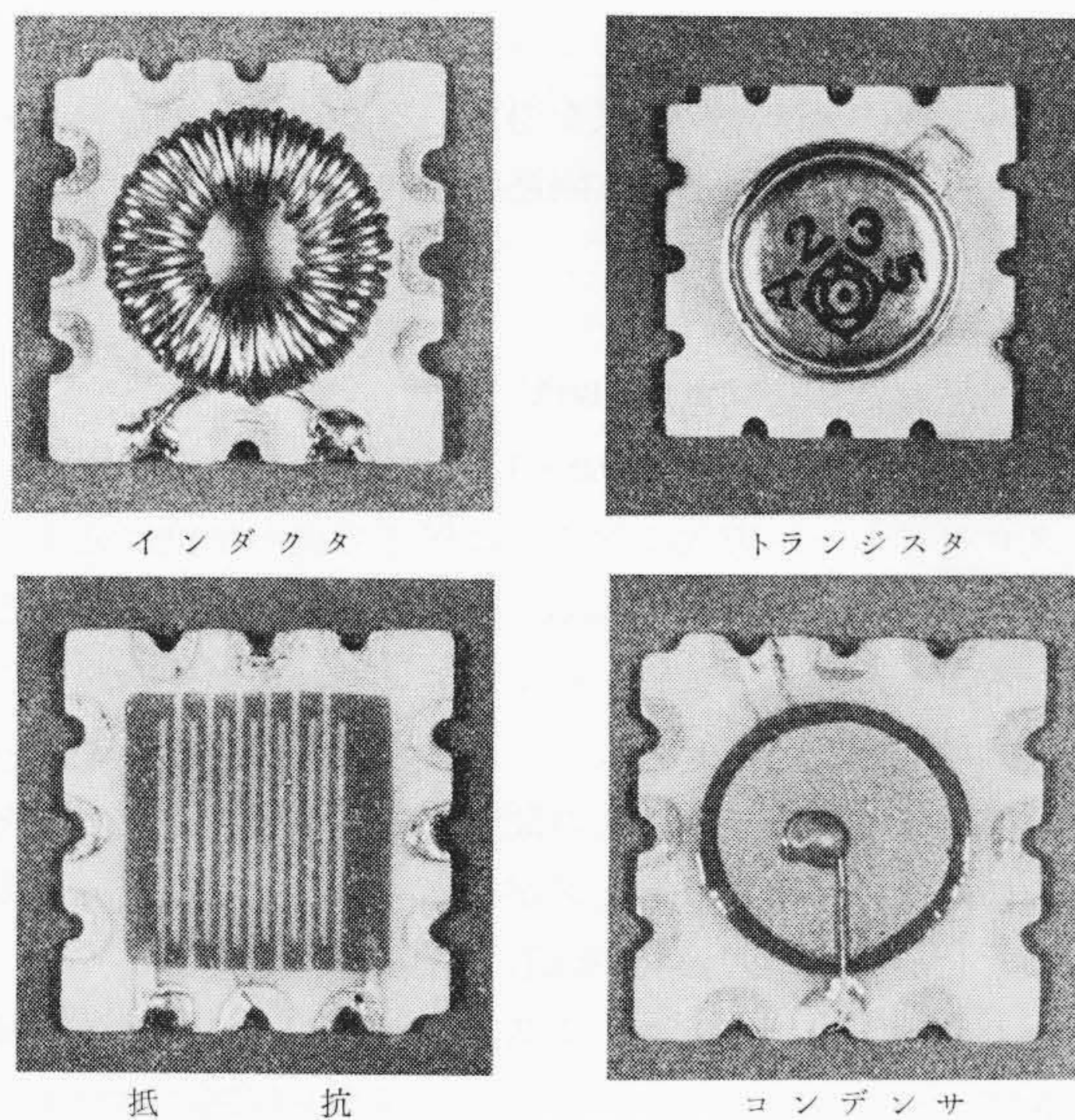
マイクロモジュール方式は他の超小形技術と競争的立場にあると同時に共存共栄の形にある。薄膜技術による部品製作はすでにマイクロモジュールの中に抵抗あるいはコンデンサとしてとり入れられており、固体回路方式はまたこれをマイクロモジュール基板上に一つの部品として入れて行くことも可能である。このような方法でマイクロモジュールの部品密度をさらに向上することができる。

2. マイクロモジュール方式の説明

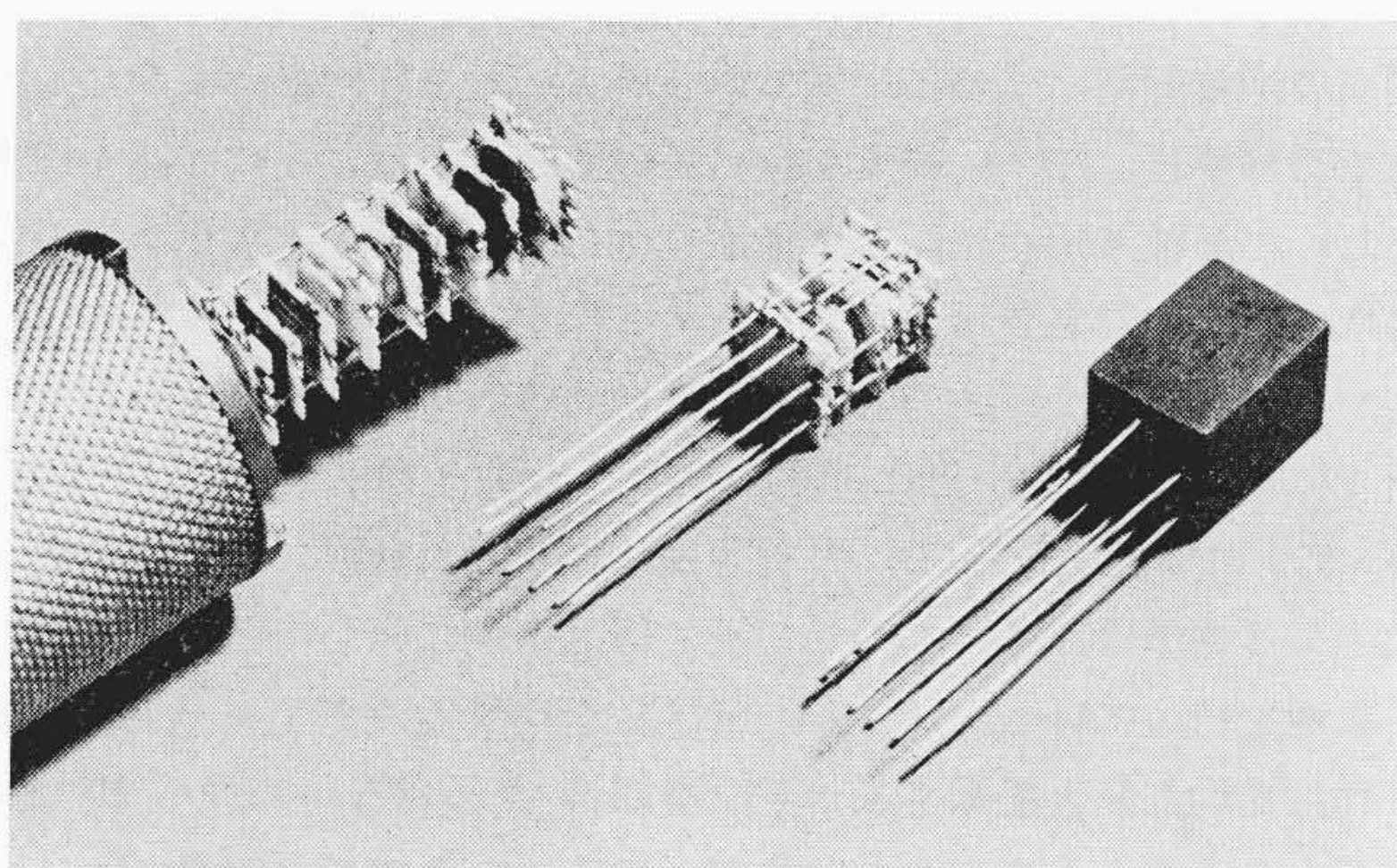
マイクロモジュールの部品はその2次元の寸法を規準化するために第1図に示すような7.88mm角のセラミック、結晶ガラスまたはベリリヤなどの基板にすべての部品素子を取り付けている。基板は



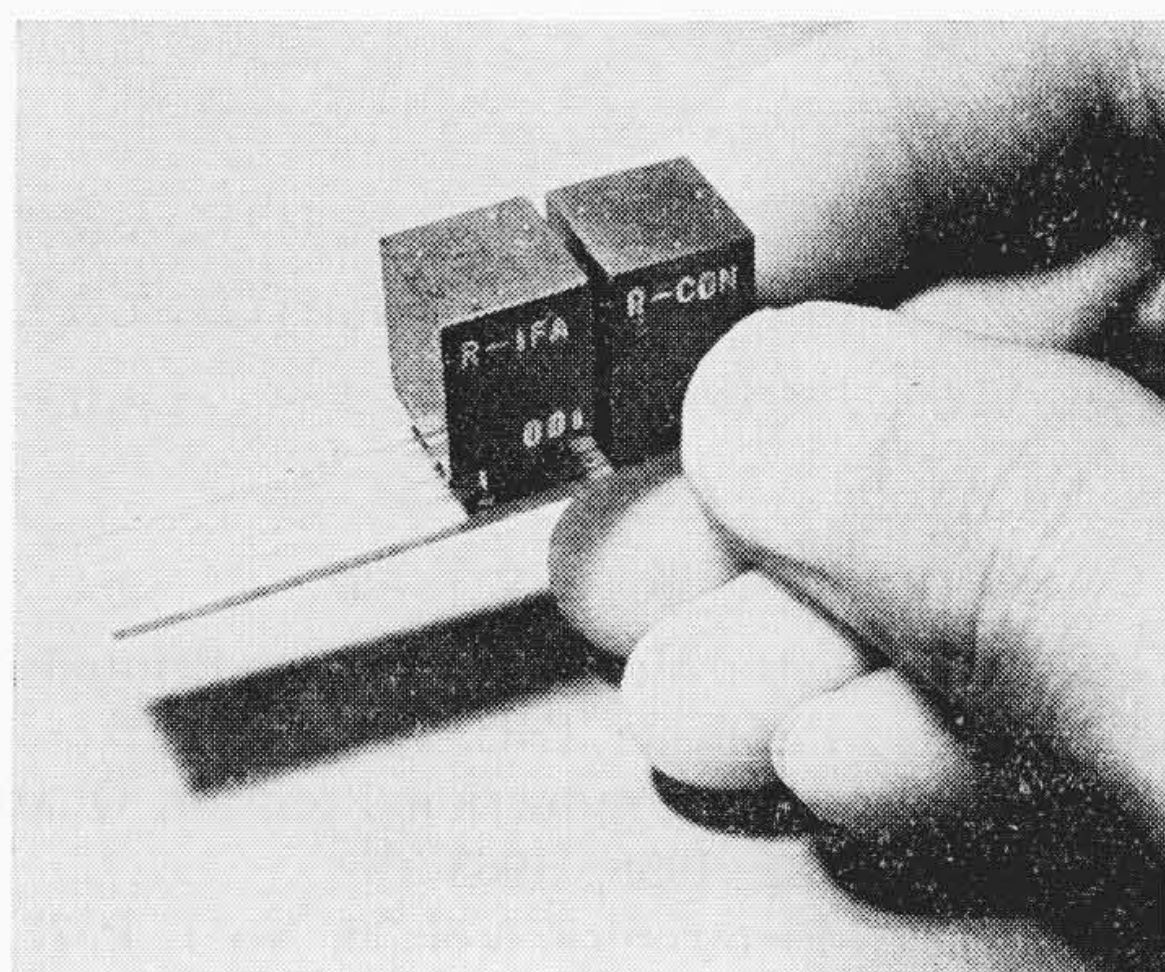
第1図 マイクロモジュール部品基板



第2図 各種マイクロモジュール部品



第3図 モジュールブロックの組み立て

第4図 モジュールブロック間のプリント配線
(ラジオの例)

縦横寸法および端子構造以外に厚さ、内部構造の異なったものが用意されており、すべての部品は基板上に構成することができる(第2図)。

基板周辺の12個の端子は部品間の接続端子で必要に応じてハンダ付けにより接続される。端子部分は銀またはニッケルモリブデンが焼付けられてある。このような基板をもとにして作った部品を第3図のように積み重ねて所要端子をはんだ付けし、全体を樹脂でモールドし同図右のようなモジュールブロックに仕上げる。できあがったブロックは第4図に示すようにプリント基板の上にならべブロック間の配線を行ないまとまった回路あるいは機器を作る。場合によってはブロックの上下両方向にリード線を出し高さの方向に接続し

て行くこともできる。この両方の接続方法を併用して行くこともよい方法であろう。一つのモジュールブロックに収められる部分回路は、回路の種類によっても異なる。たとえば無線受信機の場合、増幅回路一段程度であり、ブロックの高さは15mm程度におさえることが必要であろう。この程度の大きさでは、ブロック内の発熱、生産性などに関する問題もほぼ満足するであろう。多数の部品素子を含むようなフリップフロップ回路の場合、全体を1ブロックにすると大きすぎ、12端子では不足をきたすようになり、2個のブロックに分けるとおのおのがやや小さいといった程度である。

以上のようにして作ったマイクロモジュールブロックで、部品密度は1 cubic foot あたり 100,000~500,000 個程度で従来のプリント配線方式と比較して約10倍の密度になる。

3. マイクロモジュール方式の特長

マイクロモジュール方式のすぐれた点をあげると次のようになる。

- (a) 従来の回路と比較して回路の容積を約1/10にすることができる。
- (b) 部品製作技術が従来の部品と同様であるため、過去の経験の蓄積を有効に利用できる。
- (c) 部品の製作は個々に独立して行なわれるため、製作も開発も各専門分野で分業することができる。
- (d) 部品単体の検査が可能であるため生産性が高い。
- (e) 部品の外形寸法が同一であるため量産性に向いている。
- (f) 部品の外形寸法が同一であるため回路の組み立て、配線の自動化が可能である。
- (g) ブロック全体がモールドされているため、湿気、振動その他の周囲条件に対して強い。
- (h) 部品の製作可能な品種、定数値が広く小電力の各種回路のかなり多くのものに应用できる。すなわち応用対象の範囲が広い。
- (i) 以上述べた生産性の量産向きの点から比較的価格の低減が容易である。
- (j) 信頼度に関する実績がある。
- (k) 小形化の程度が他の入出力部品、電池、各種機構部品の現在の技術による小形化の程度に見合っている。

以上のうちで(d)の項目は特に現在の一般水準では重要なことである。この種の超小形部品の製作における良品率を100%近くに保つことはなかなか困難であるから部品単体の検査であらかじめ不良品を除いておくことができることは有利である。(k)項の小形化の程度に関する事項も案外重要である。回路だけが極端に超小形化されても、これとともに使用する他部品、たとえばスピーカ、マイクロフォン、電池スイッチなどが小形にならぬと均衡がとれずむだな努力をしたことになる。トランジスタとプリント配線技術によって小形化の技術がはじまった当時、上記の併用部品類の小形化も大いに促進され、現在これらと回路とは小形化の程度がだいたい均衡のとれた状況にきている。しかし限度近くきていることは確かで、たとえばラジオにおけるスピーカなどは音質をおとさずに現在のものよりも小形化することはなかなか困難である。また真空管がトランジスタに変えられたときには回路の電力消費量が格段に減ったので電源回路、電池などの容積も大幅に減り、小形化に大きく貢献している。しかし現在あらわれて来ている超小形技術では、電力消費量に関してはだいたい従来のままであるから電源関係はあまり超小形化が期待し得ず、電源の機器に対して占める容積比率はますます大きくなる。また電力消費がほぼ同一で回路が小形化されることは、それだけ回路内部での熱放散が困難になることを意味する。現在の

トランジスタとプリント配線による回路ではほとんどの場合回路内部発生熱の放散を考慮する必要はなかった。マイクロモジュールによって若干熱放散の問題が生じ、多数のブロックを立体的に密接して配置する場合には相当熱の放散を工夫することが必要になる。マイクロモジュールよりもさらに回路が小形化された際には熱の放散は非常に大きな問題になる。もちろん今後技術の進歩によって上記の併用部品類もさらに小形化されるであろうし、また現に小形化への努力が続けられており、電力消費の少ない回路や能動素子も出現するであろうし、また耐熱性の大きい受動部品も開発されるであろう。

次にマイクロモジュール方式の短所と見られる点をあげると次のとおりである。

(a) 小形化の程度が低い。

従来の回路と比較して薄膜 2-D 方式、固体回路方式などが容積において $1/100 \sim 1/1,000$ となると称しているのに対し小形化の程度が低い。この点魅力を減ずるわけであるが、少なくとも遠い将来まで存続する理想的な形態でなく中間的な技術であると考えられる。しかし工業的需要の面から見ると現在の技術に見合っておりかなりの期間使用されるものと考ええる。

(b) 配線をハンダ付けで行なっており、接続個所が多い。

ハンダ付け不良、またはハンダ付けによる部品の劣化によって回路の信頼度の下がる心配があることは従来の回路と同様である。またハンダ付けの個所はかなりの数にあがっているが一方ハンダ付けの信頼度はかなり高いことが報告されている⁽⁵⁾。しかしハンダ付け個所の多いことはいずれにしても好ましいことではない。

(c) 基板の有効面積が小さい。

基板の有効面積は約 52% であり、さらに合理的な寸法構造の検討が必要であろう。

4. マイクロモジュール方式において目標とする一般的仕様

マイクロモジュールブロックの用いられる周囲条件に関して RCA においては次のような目標値を定めている。これは主として軍用を目的とした値である。わが国においては必ずしも事情は同一でないがほぼこの程度の目標で満足する必要がある。

- (a) 周囲温度 $-55^{\circ}\text{C} \sim +85^{\circ}\text{C}$
- (b) 耐湿性 80% より 95% まで 10 サイクル
- (c) 機械的衝撃 50 g, 10 ms 持続にて 30 回 (6 方向におおの 5 回)
- (d) 振動 10~20,000 cps
- (e) 気圧(高度) 150,000 feet
- (f) 耐塩性 96 時間 (20% 塩分)

マイクロモジュールの信頼度に関しては、米軍のマイクロモジュール生産計画において次の目標が定められている。すなわち 10 個の部品よりなるモジュールブロックの MTBF は 75,000 時間以上であ

ること。これについては前述のようにデジタルおよび通信回路のいずれもが大幅に上回った結果を得ている。このほかマイクロモジュールブロック化の対象となる回路は次の許容値内にあることが望ましい。

- (a) 周波数 100 Mc 以下
- (b) 部品および線間電圧 100 V 以下
- (c) 1 ブロックの発熱量 0.5~1 W 以下

マイクロモジュール方式においては保守交換の単位は従来のプリント回路のように 1 個 1 個の部品でなく、部品の集合体であるブロックとなる。したがってモジュールブロックは信頼性の高いこと、価格の低廉なことが要求せられる。両者は関連性があることであるが、まず需要者においては価格の問題が最も重要視されることになる。価格の低減はそのほとんどが量産に依存すると言ってもよいであろう。しかし電子回路の種類は無限と言ってもよいくらいに多く、このような回路ブロックを 1 個 1 個とりあげていたのではまず量産はおぼつかないであろう。これらの回路を仔細に検討すると多分に回路設計者の気まぐれもあり、多少の効率低下をがまんすれば標準化し得る多くの回路を含んでいる。直線回路においては各種中間周波増幅回路はこのよい例であり、デジタル回路のようなものはまた標準化しやすい要素を持っている。以上のように回路を標準化し、小品種多用途化により量産を行なうことは超小形化方式の価格低減のために必要なことである。

マイクロモジュール方式は小形化の程度は従来品の $1/10$ 程度に留まっているが、超小形化方式における基礎的な構造を有しており、多くの示唆を含んでいる。最近急速に進歩した薄膜および半導体方式による素子はマイクロモジュール方式の中に直ちにとり入れられる素地を持っている。すなわち薄膜技術によってウェハー上に構成された受動部品と能動部品チップを組み合わせるいわゆる Hybrid 構造とすることもできるし、またこのようにしてできたウェハーを積み重ねて高密度の多機能回路を構成することも可能である。このような考えに基づいた Enhanced または Advanced Micromodule 方式⁽⁶⁾も考えられており、マイクロモジュール方式の高密度化は期待される。

日立製作所においては昭和 35 年より部品、材料から機器に至るまで一貫してマイクロモジュール方式の開発を行なってきた。ここにその研究成果を紹介し、今後の電子回路のモジュール化についての資としたい。

参 考 文 献

- (1) Robert. L. Swiggett: Introduction to Printed Circuits, John F. Rider, Publisher INC, 1956 年
- (2) RCA: Micromodule Production Program Quarterly Report, No. 1~No. 22, 1958~1963 年
- (3) A. S. Retting: Electronics, Vol. 36, No. 1, P. 77, 1963 年
- (4) M. Curtis, N. Bechtold: IEEE Convention Record, Vol. 11, P. 58, 1963 年
- (5) Electronic News: Reliability of Soldered Printed Circuit, P. 26, Aug. 26, 1963 年
- (6) R. A. Gerhold: Electronics, Vol. 36, No. 21, P. 78, 1963 年