216 垂直基板上的 IC 型抵抗素子の自然 対流熱伝達の研究 (感温液晶懸濁法による可視化)

東京電機大学 理工学部 亀岡 利行

A Study of Natural Convective Heat Transfer for IC Package
Type Resistance Elements on Vertical Board (Visualization
with Liquid Crystal Particle Suspension Method)

Toshiyuki KAMEOKA

Natural convective heat transfer on several arrays of IC package type resistance elements is made clear by the experiments in silicone oil. The heat transfer characteristics are shown by the relation between Nu and Ra . Flow and temperature fields around the resistance elements are visualized by using two kinds of liquid crystal with difference temperature ranges. The velocity of fluid around the elements is measured with the path lines of liquid crystal particles. The temperature of fluid and that of element surface are measured by the thermocouples. The relation between heat transfer and flow field is examined with the visualized color pictures.

1. まえがき

現在の電子機器は、集積回路の高密度化をはじめ各種コンポーネントの小型高性能化が推進された結果、発熱密度は著しく上昇してきた。そのために、製品の品質を保証するうえで集積回路の熱設計は重要な問題である。これについての各種の調査、解説^{(1)・(2)}、研究報告^{(3)・(4)}がされている。

装置全体をコンパクトにすることおよび集積回路からの発熱量の大きさから、主に冷却ファンによる強制空冷が使用されているが、騒音が非常に気になることがある。また、塵埃の問題も存在する。これに関連のあるファンシステムの信頼性、保全性を考慮すると、小型化には相反するが自然空冷を見直すことも必要と考えられる。この場合、一般的には除熱不足になりがちであるので、自然空冷の除熱限界を確認すること、あるいは伝熱促進の可能性の追求することを研究目的として、透明アクリル板容器内のシリコン油中に垂直に設置された基板上的 IC 型抵抗素子の通電加熱による自然対流伝熱実験を行うとともに、発色温度範囲の異なる二種類の感温液晶粒子を懸濁^{(5)・(6)}して、流れ場と温度場を同時

Faculty of Science and Engineering, Tokyo Denki University,
Hatoyama-machi, Hiki-gun, Saitama, 350-03 Japan

に可視化し、抵抗素子の配置の違いにより流れ場・温度場がいかに変化するかを明らかにする。

2. 実験装置および実験方法

図1に実験装置概要を示す。外側水槽と内側油槽は、内部状況が観察・写真撮影ができるように、透明アクリル板（10mm厚さ）で作られている。外側水槽は底面中央から一定温度の水が恒温水槽より注入され、内側油槽を一定温度にする。

内側油槽には、発色範囲の異なる二種類の感温液晶（マイクロカプセルパウダー Type W-30 24℃（赤）-30℃（青）、Type-3237 32℃（赤）-37℃（青））をそれぞれ重量比 0.02% 混入したシリコン油（信越シリコン KF-56）が入っている。その中にIC型抵抗素子を所定の位置に配置した基板を垂直に固定し、抵抗素子を直流電源で加熱する。

ハロゲンランプ（650W）のスライドプロジェクタからのスリット光（テスト部で約 3mm幅）により抵抗素子まわりの状況を写真撮影（カラーフィルム ISO 1600）し、印画紙に焼き付けた写真上で、流れ場・温度場の測定、現象の検討を行う。なお、写真撮影は、スリット光に対して90°の位置で行った。

図2は実験で使用した抵抗素子および熱電対の配置の一例を示したものである。実験は抵抗素子1個、上下2個および千鳥配列（図2）の3種類の場合に対して行った。抵抗素子は8個の抵抗を内蔵しているが、これらを並列結線して通電加熱する。

実験はシリコン油の温度が24.5℃になるように恒温水槽を調節し、抵抗素子に通電加熱する。抵抗素子表面温度および周辺の油温が定常状態であることを確認後、供給電力、各部の熱電対起電力の測定、写真撮影を行う。これらより自然対流熱伝達特性を求める。

Fig.1 Experimental apparatus

Fig.2 Array of resistance elements and thermocouples

また、流れ場・温度場と伝熱特性との関連を求める。

3. 実験結果および考察

3-1. 抵抗素子まわりの流れ場・

温度場の可視化

図3,4,5 は抵抗素子まわりの流れ場・温度場を、二種類の感温液晶粒子をシリコン油中に懸濁して可視化した例を示したものである。

図3-(1) は上下 2個配列の下のみ加熱の場合を示している。下抵抗素子表面中央の温度は 33.75°C (高温側液晶の赤色領域) となっており、あまり明確な色彩を示していないが、下抵抗素子上部あるいは上抵抗素子まわりに高温の白い領域 (カラー写真では青色: 低温液晶) が示されている。なお、熱電対による温度分布は抵抗素子中心線に対してほぼ対称的になっている。

Fig.3 Flow and temperature field around elements on in-line array with lower heated

Fig.4 Flow and temperature field around elements on in-line array with both heated

Fig.5 Flow and temperature field around elements on staggered array

図3-(2)は図3-(1)の状態とほぼ同様の実験条件で側面の状態を写真撮影したものである。下素子および上素子の表面上の温度境界層が明確に示されている。また、熱流は基板に沿って上昇している様子が示されている。

図4-(1)は上下2個配列の両方加熱の場合を示している。素子まわりの白色の高温の上昇熱流が幅広く示されている。

図4-(2)は側面からの写真を示しているが、素子上の温度境界層は明確ではない。これは温度範囲がちょうど液晶の発色範囲をはずれていることから明確でなくなっているが、基板に沿う上昇流については高温の白い部分(カラーでは青色系統)が示されている。

図5は上下2個ずつの千鳥配列の例を示したものである。4素子とも同一の電力で加熱しており、白っぽい上昇流は、カラーでは発色は緑から青色あたりであり、下2個からの上昇熱流が、上2個の側面に沿ってあまり混合せずに上昇していることが示されている。また、上昇しながら順次温度降下している様子も見られる。

3-2. 熱伝達特性

垂直基板に取り付けられた素子の熱伝達特性をNu数とRa数との関係で示す。なお、それぞれの計算には以下の式を用いた。

$$Nu = \alpha L / \lambda, \quad \alpha = Q / A(t_s - t_o),$$

$$Ra = Pr \times Gr = L^3 g \beta (t_s - t_o) / a \nu$$

ここで、 α : 熱伝達率, L : 代表長さ(抵抗素子の垂直方向長さ $=21.5 \times 10^{-3} \text{ m}$), λ : シリコン油の熱伝導率, Q : 放熱量(通電加熱量), A : 放熱面積, t_s : 抵抗素子表面温度, t_o : シリコン油平均温度, g : 重力加速度, β : 体膨張係数, a : 熱拡散率, ν : 動粘性係数である。

図6-1は素子1個のみ、上下2個の上のみ、下のみを加熱した場合の結果をNuとRaとの関係で示している。同じRa数の場合には、Nu数は下側単独加熱の場合が最大で、単独、上側の順になっているが、その差はわずかである。その相違の原因は現在のところ不明である。

図6-2は上下2個とも加熱の場合を示

Fig.6-1 Relations between Nu and Ra on a single element and in-line elements with only heated

Fig.6-2 Relations between Nu and Ra on in-line elements with both heated

しているが、上側は下側からの上昇熱流の影響を受けて伝熱性能が悪くなっていることがわかる。下側素子の伝熱特性は、図 6-1 とほぼ同じ結果を示している。

図 6-3 は上下 2 個ずつの千鳥配列のそれぞれの素子の伝熱特性を示している。下 2 個はほぼ同一の値を示しているが、上 2 個は Ra 数の小さい領域で少し差が現われている。これは上左側の素子表面温度が右側よりも少し高温になっていることによるものであるが、可視化写真から見て、上昇熱流の影響をより大きく受けているものと考えられる。

3-3. 抵抗素子まわりの流速

可視化写真を用いて、図 7 の斜線の領域内の液晶粒子の流跡をディジタイザと計算機で求めた流速を示したものが図 8 である。温度差 (素子表面温度 - シリコン油平均温度) と流速との関係で示してある。

図 8-1 では、速度は同じ温度差に対して単独の場合が最低で、上下 2 個加

Fig.8-1 Relations between velocity and temperature difference on several arrailes

Fig.6-3 Relations between Nu and Ra on staggered elements with all heated ($X=4.8mm$)

Fig.7 Region of Velocity Measurement

Fig.8-2 Relations between velocity and temperature difference on staggered array

熱の上側，4個の千鳥配列と流速は少しずつ大きくなっている。ただ，▲印の上側素子の場合，温度差の大きい領域で異常な値を示している。これは発色の関係で，流跡が明確に撮影されなかったことによるものではないかと考えている。流速は全発熱量に対応して増加するものと一般的に考えられる。

図8-2は千鳥配列の上下素子のずれの距離 X によるの影響を示したものである。 X の値の違いにより流速はあまり影響を受けないが，傾向として X の値が大きくなれば流速が大きくなっているようである。これは X の値が大きくなると下側からの上昇流が上側素子により影響を受ける度合いが小さくなり，流れ場全体の動きを大きくしているものと考えられる。

4. まとめ

垂直基板上に固定された各種配列のIC型抵抗素子の自然対流熱伝達特性をシリコン油中で実験により求め，Nu数とRa数との関係で示した。また，その時の素子まわりの流れ場・温度場を，発色温度範囲の異なる二種類の感温液晶粒子をシリコン油中に懸濁して可視化し，伝熱特性との関連について検討した。

5. 文 献

- (1) 電子機器の冷却技術，日本機械学会編，技報堂。
- (2) 中山，機論，52-476，B(昭61)，1439。
- (3) 柳田，機論，54-509，B(昭63)，1730。
- (4) 土方・他2名，機論，55-510，B(1989)，488。
- (5) 秋野・他4名，機論，55-509，B(1989)，152。
- (6) 亀岡，流れの可視化，Vol.9，Suppl.(1989)，137。
- (7) 亀岡，可視化情報，Vol.10，Suppl. No.2(1990)，171。
- (8) 亀岡，可視化情報，Vol.11，Suppl. No.1(1991)，7。