

論 文

画像処理による IC モールド内の熱応力計測

吉 村 昇*, 川 崎 邦 彦*, 昌 子 智 由**

畠 山 幸 一***, 小 林 孝 広***

(1991年5月24日受理)

The Measurement of Thermal Stress in Plastic Molded IC by Image Processing

N. YOSHIMURA,* K. KAWASAKI,* T. SHOJI**, K. HATAKEYAMA***

and T. KOBAYASHI***

(Received May 24, 1991)

The integrated circuit (IC) industries have been developed toward smaller and thinner package and larger memory capacity. With a rapid technical development, the ICs have been integrated at higher density such as 1M and 4M bits. In general, the IC is molded by epoxy resin. The molding process of the IC package includes both heating and cooling processes. Thermal stresses are induced during the cooling process. It has been reported that the thermal stresses bring harmful effect on the molded IC. Therefore, various techniques are used to reduce the thermal stresses. Understanding and reducing of the thermal stresses are required for the design of a high-reliability package. Consequently, in the present study, thermal stress in a part of the resin was measured experimentally by the photoelastic method, and it was analyzed using image processing system. As the result, the maximum thermal stresses appear at near the chip edge and the chip center. From a comparison of the 1Mbit IC with the 4Mbit IC, thermal stress distributions of the 1Mbit IC was not so difference as those of the 4Mbit IC.

1. はじめに

現在、電子機器には多くの集積回路 (Integrated Circuit; IC) が使用されている。そして、電子機器の軽薄短小化の傾向に伴い、半導体チップは高集積化技術による高機能・大容量化が進み、サイズが大型化している。一方、SMT (Surface Mount Technology: 表面実装技術) の進歩に伴う高密度実装に対応するパッケージサ

イズの小型化も要求されている。このため、パッケージ形態も従来のピン挿入形から表面実装形へと移行している¹⁾。ICは生産性およびコストなどの面で、高分子材料で成形された樹脂封止形パッケージとなっている。特に、エポキシ樹脂封止材の信頼性向上によって半導体封止の90%がエポキシ樹脂封止となっている²⁾。

半導体チップを樹脂により封止する IC のモールドプロセスには、加熱過程と冷却過程の二つがあり、このためチップとリードフレームおよびモールド樹脂の熱膨張係数などの相違が、温度の上下する環境ではきわめて重大となり、この成形過程中に発生する熱応力が製品の信頼性に悪影響を及ぼすことが知られている。この熱応力を低減するために様々な方法が取られ、低応力性の優れた封止材が要求されている。

従来、このような熱応力を解析する手段として、実験的には、ひずみゲージ³⁾、光弾性法⁴⁾、ピエゾ抵抗素子などが、数値解法としては差分法、有限要素法⁵⁾、境界要素法などが用いられている。そして、製品の信頼性を向上させるにはパッケージの開発段階で熱応力を評価し、パッケージの形状や材料などにフィードバックさせ、最

キーワード : IC, エポキシ樹脂, 熱応力

* 秋田大学鉱山学部電気工学科 (010 秋田県秋田市手形学園町 1-1)

Department of Electrical Engineering, Mining College, Akita University, 1-1 Tegata Gakuencho, Akita, 010 Japan

** 秋田大学鉱山学部資源化学工学科 (010 秋田県秋田市手形学園町 1-1)

Department of Chemical Engineering for Resources, Mining College, Akita University, 1-1 Tegata Gakuencho, Akita, 010 Japan

*** アキタ電子(株) 雄和工場 (010-12 秋田県河辺郡雄和町石田字山田 89)

Akita Electronics Co. Ltd., 89 Ishida-Aza-Yamada, Yuwa-Machi, Kawabe District, Akita, 010-12 Japan

適化を図る必要がある。

本研究では、実験的な方法の1つである光弾性法⁶⁾を用いてモールド樹脂に残留している熱応力の計測を行い、その結果について検討した。従来の光弾性法では、応力計算に必要な縞画像は、写真に撮られ、その縞を経験的にトレースし、応力計算を行っていた。本計測においては、画像処理計測システムを使用することにより、半経験的な作業は行わずに熱応力分布図を作成し、それに基づき熱応力解析を行った。

2. 光弾性応力解析の基本原理⁶⁾

光弾性法は、透明な高分子材料を使用し、これに偏光を通すことにより応力を測定する方法である。いま、最も簡単な平板の場合(図1)を考え、その面内で負荷 $p_1, p_2 \dots p_n$ を与える、面内の主応力 σ_1, σ_2 (σ_1 と σ_2 は互いに直角)が生じるものとし、第3の主応力 σ_3 (平板に垂直)はゼロ、すなわち2次元平面応力状態にあるとする。この平板に垂直に偏光を入射する場合、光弾性効果(複屈折現象)は2つの実験的事実にその基礎をおいている。

(1) 光は主応力方向に振動する2つの光に分かれて主応力面に沿って進行する。

(2) 2つの光の速度は2つの主応力に依存し、次の実験的に確かめられた関係式に従う。

$$n_1 - n_0 = A\sigma_1 + B\sigma_2 \quad (1)$$

$$n_2 - n_0 = A\sigma_2 + B\sigma_1 \quad (2)$$

n_0 はこの平板が応力を受けていない場合の光の屈折率であり、 n_1, n_2 は主応力 σ_1, σ_2 の方向に振動する偏光の屈折率である。 A, B は平板の材料に特有な定数である。よって、入射された光は2つの主応力方向に分かれ、屈折率の異なる面を進むために平板内を通過する速度が異なり、平板内を通過する時間も異なる。その結果、2つの光の間には位相差を生ずることになる。そして、この位相差が主応力差($\sigma_1 - \sigma_2$)に依存していることが光弾性実験法の基本原理である。

本研究では、応力計算に剪断応力差積分法(Shear difference method)を用いた。この方法は、光弾性実験により得られた主応力差($\sigma_1 - \sigma_2$)を表わす等色線および主応力の方向を表わす等傾線を利用して応力値を求める方法である。そこで、横(x軸)方向の垂直応力を σ_x 、縦(y軸)方向の垂直応力 σ_y 、これに対応する剪断応力を τ_{xy} とすると、主応力 σ_1, σ_2 と主応力の方向 ϕ の間には次の関係がある。

$$2\tau_{xy} = (\sigma_1 - \sigma_2) \sin 2\phi \quad (3)$$

$$\sigma_x = \sum (\Delta \tau_{xy} / \Delta y) \Delta x \quad (4)$$

$$\sigma_y = \sigma_x - (\sigma_1 - \sigma_2) \cos 2\phi \quad (5)$$

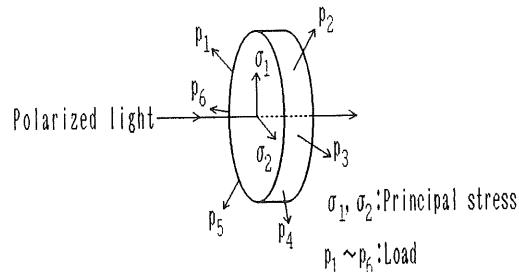


図1 2次元平面応力状態

Fig. 1 State of 2-dimensional plane stress.

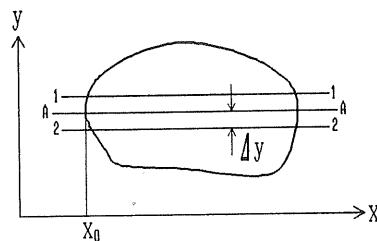


図2 剪断応力差積分法

Fig. 2 Shear difference method.

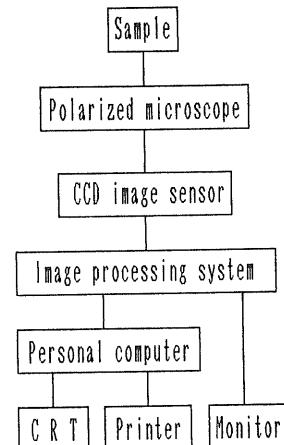


図3 実験装置構成図

Fig. 3 Experimental block diagram.

例えば、図2に示した断面A-Aの応力を求める場合、剪断応力 τ_{xy} は主応力差(等色線図)と主応力の方向(等傾線図)からただちに求められる。 σ_x は計算位置の上下に Δy 離れた2つの断面1-1, 2-2を取り、それらの位置に相当する剪断応力を τ_{xy1} (断面1-1), τ_{xy2} (断面2-2)を求め、その差分

$$\Delta \tau_{xy} = \tau_{xy1} - \tau_{xy2} \quad (6)$$

と区間 Δx から σ_x を求める。 σ_y は断面A-A上の主応力差と主応力の方向および σ_x を式(5)に代入して

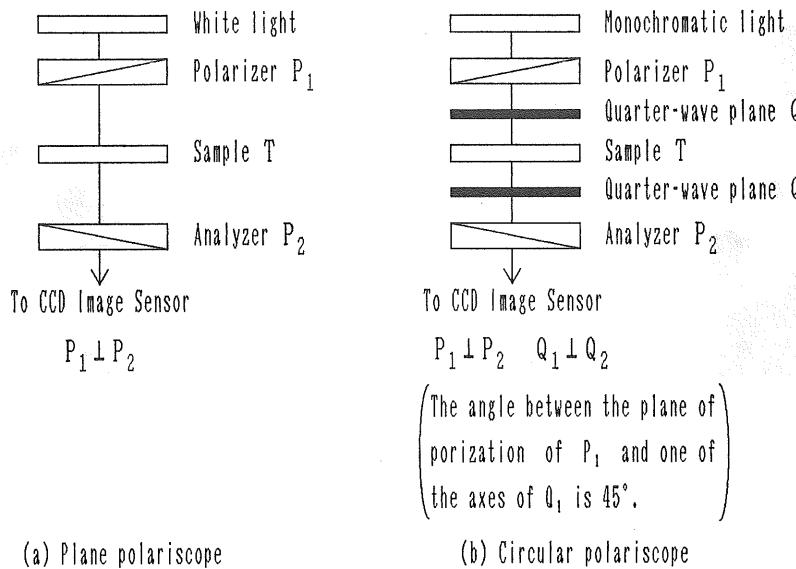


図 4 平面および円偏光光学系

Fig. 4 Plane polariscope and circular polariscope.

求める。

3. 実験装置および計測方法

3.1 実験装置の概要

本研究で用いた実験装置の構成を図 3 に示す。偏光顕微鏡 (OLYMPUS BH-2) は光弾性法で使用する平面偏光光学系と円偏光光学系で構成しており、平面および円偏光光学系における顕微鏡の構成を図 4 に示す。平面偏光光学系は、白色光源、偏光子、検光子で構成しており、サンプルは偏光子と検光子の間に配置した。また、円偏光光学系は、単色光、偏光子、4 分の 1 波長板、4 分の 1 波長板、検光子で構成しており、サンプルは 2 枚の 4 分の 1 波長板の間に配置した。

CCD カメラ (OLYMPUS FCD-720) は、偏光顕微鏡に取り付け、顕微鏡から画像を取り込むのに使用した。この CCD カメラは、画像処理装置 (ケイオー電子工業 (株) IFM/PC-256) と接続しており、画像処理は画像処理装置とパーソナルコンピュータ (EPSON PC-286V) を用いて行った。画像出力および計算結果は、画像処理装置に接続されたモニタ (SONY CPV-14CD2) とコンピュータに接続されたディスプレイ (SHARP CU-14AD) あるいはプリンタ (EPSON VP-1000) に出力した。

3.2 計測方法

計測方法は次のとおりである。最初、光弾性法に必要な 2 種類の画像を取り込む。この場合、図 5 に示した透明樹脂によりモールドした IC を厚さ 1~2 mm 程度にスライスし、計測に用いた。パッケージの断面は左右対

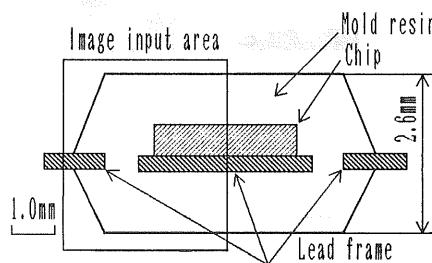
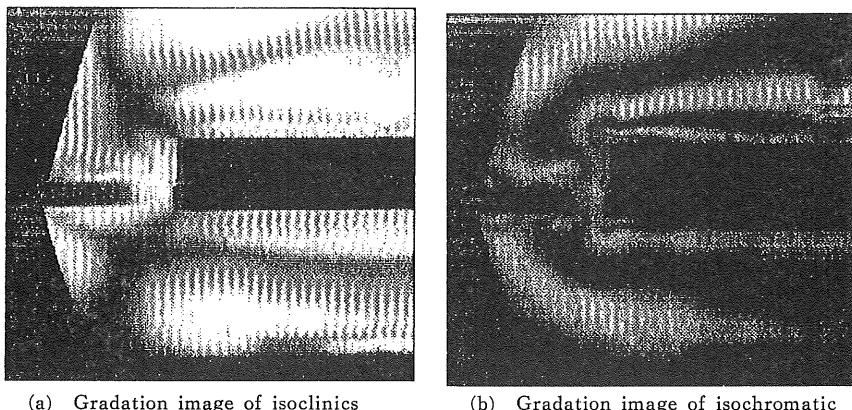


図 5 サンプルの形状

Fig. 5 A form of sample.

称のため、画像の入力範囲は左半面とし解析対象とした。まず、主応力の方向を見いだすため偏光顕微鏡を平面偏光光学系の状態にして等傾線画像を取り込む。さらに、主応力差を見いだすため円偏光光学系の状態にして等色線画像を取り込む。また、IC の形状を抽出するため偏光系を用いないで別処理に使用する画像も取り込む。この際、等傾線画像から等傾線図、等色線画像から等色線図を作成して応力計算に用いるので、等傾線画像については 0° から 80° まで 10° 刻みに 9 種類、等色線画像については n 次と $n+0.5$ 次 ($n=0, 1, 2, 3, \dots$) の 2 種類を取り込む。これら顕微鏡からの画像を画像処理装置に取り込み、コンピュータを介してフロッピーディスクに保存する。

これらの画像に種々の処理⁷ (二値化、雑音消去、細線化など) を施す。図 6 は濃淡画像である。濃淡のレベルは 256 階調であるが、ハードコピーを出力する場合、

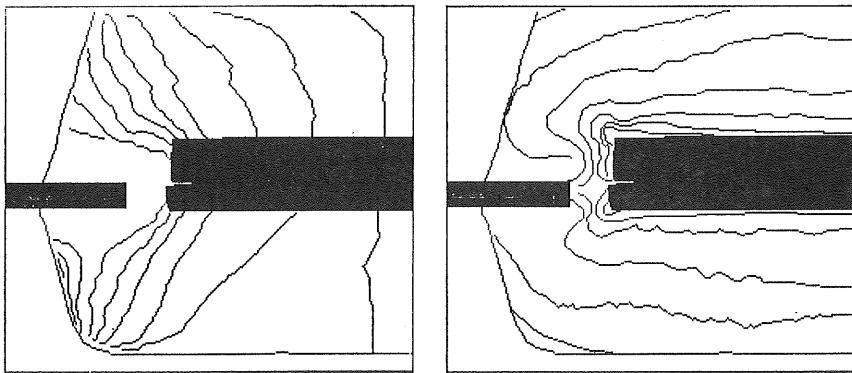


(a) Gradation image of isoclinics

(b) Gradation image of isochromatics

図 6 濃淡画像

Fig. 6 Gradation image.



(a) Binary image of isoclinics

(b) Binary image of isochromatics

図 7 等傾線図および等色線図

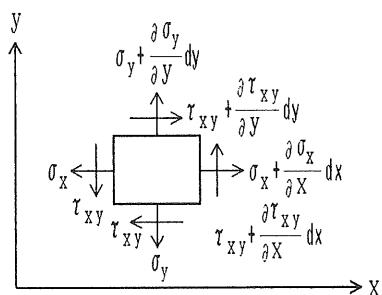
Fig. 7 Binary image of isoclinics and isochromatics.

プリンタの関係で8階調にした。以後、このような濃淡画像のモールド内に存在する暗帯の中心線を抽出する作業を行う。この画像のヒストグラムから二値化レベルを決定し、二値化処理を行う。この画像には暗帯間に雑音があり、応力計測には不要であるので、图形融合（収縮・拡散）により雑音消去を行う。雑音消去後、細線化処理を行い、ある幅をもった線のほぼ中央の線を求める。この細線化画像から必要な線分を抽出し重ね合わせることで、図7に示す等傾線図と等色線図を作成する。

なお、計測に使用した偏光顕微鏡の倍率は5倍であり、濃淡画像1画素あたりの大きさは約15μmである。

4. 結果・考察

以上のように計測および計算した結果から、熱応力(垂直応力) σ_x , σ_y と剪断応力 τ_{xy} を得た。 σ_x はチップに平行方向な応力で、 σ_y は垂直方向の応力を示している。これらの関係を図8に示す。



σ_x : horizontal stress

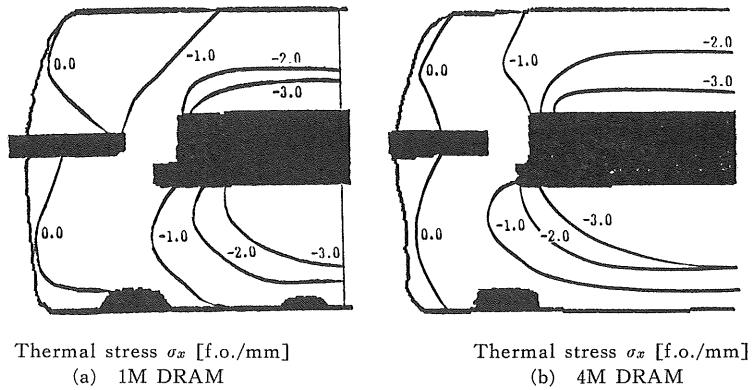
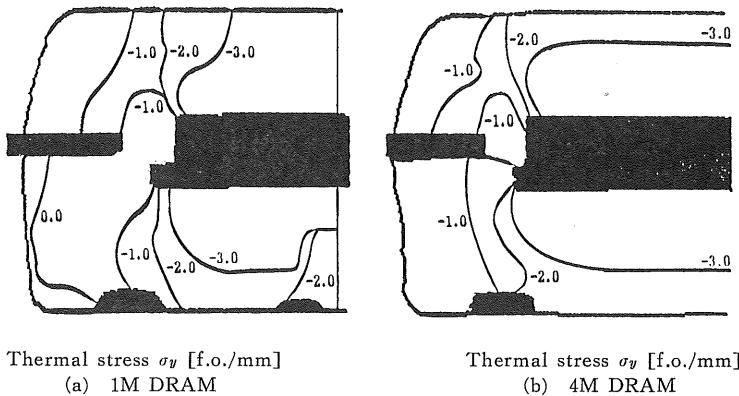
σ_y : vertical stress

τ_{xy} : shearing stress

(These stresses are a positive direction)

図 8 热応力 σ_y と σ_x および剪断応力 τ_{xy} の関係Fig. 8 Directions of σ_x , σ_y and τ_{xy} .

本研究で使用したICは、1Mおよび4MビットのSOJ(Small Outline J-lead package)タイプのDRAM(Dynamic Random Access Memory)である。これら

図 9 热応力 σ_x の等応力線図Fig. 9 Stress contours of thermal stress σ_x .図 10 热応力 σ_y の等応力線図Fig. 10 Stress contours of thermal stress σ_y .

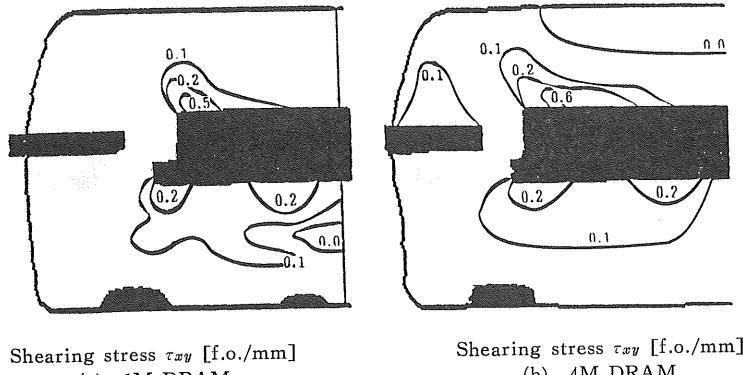
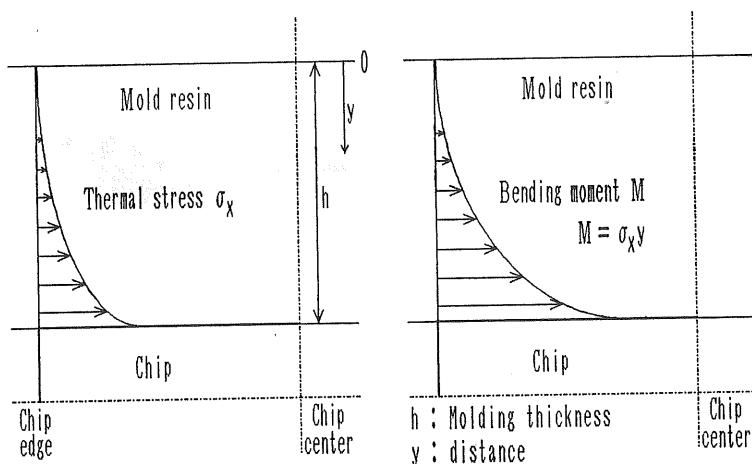
の IC はチップサイズおよびパッケージの長手方向の大きさは異なるが、チップとリードフレームおよびモールド樹脂の材料物性（熱伝導率、ヤング率、ポアソン比、熱膨張係数など）とモールド厚さ（2.6 mm）は同じである。1M および 4M ビットの測定結果を図 9、図 10 および図 11 に示す。ここで、等色線縞次数 1 次（1 フリンジ）に相当する力を 1 f.o. (fringe order) とし、その力を試料の厚さで割り、単位厚さ当たりの応力値を f.o./mm とした。また、非充填エポキシ樹脂の光弾性定数⁶⁾から、図中の数値に 0.948 倍することにより単位が MPa となる。

その結果、熱応力 σ_x はチップの上面で大きな値（-3.0 f.o./mm）を示し、チップおよびリードフレーム端では急な応力勾配となっている。そこで、チップ端上部の熱応力 σ_x を模式的に表わすと図 12 のようになり、曲げモーメントによってチップから樹脂を引きはがす方向に働いている。また、熱応力 σ_y はチップの上部およびリードフレームの下部で大きな圧縮応力が働き、チッ

プとリードフレームを樹脂が押さえつけている。そして、剪断応力 τ_{xy} はチップ上端付近なわちボンディングパッド付近で局所的に最大（0.5~0.6 f.o./mm）となることから、この部分の破壊の原因の 1 つであると考えられる。熱応力および剪断応力は、チップおよびリードフレームの上下で発生していることがこれらの応力分布図からわかる。また、1M と 4M のサンプルを比較すると、応力分布に違いはほとんどないが、最大の剪断応力において、4M の方が大きくなっている。これは、4M の方がチップ面積が大きく、チップに面する樹脂の収縮によるそれが 1M に比べて大きいため、それに比例して応力が大きくなったものと考えられる。しかし、熱応力は、チップ面積に比べ、パッケージの長さに大きくは影響していない。

5. まとめ

光弾性法を用いて IC モールド樹脂の熱応力分布について計測した。本研究で得られた主な結果は以下のとお

図 11 剪断応力 τ_{xy} の等応力線図Fig. 11 Stress contours of shearing stress τ_{xy} .図 12 热応力 σ_x の影響Fig. 12 Influence of thermal stress σ_x .

りである。

(1) IC モールド樹脂内における熱応力および剪断応力の分布より、熱応力はチップおよびリードフレームの上下の樹脂の部分で大きく、界面の部分で最も大きくなることを明らかにした。

(2) パッケージの長さの異なるサンプルを計測した結果、熱応力はパッケージの長さにはほとんど影響しないことがわかった。また、応力の分布にも大きな差異がないことを明らかにした。

(3) 热応力 σ_x の分布の状況と剪断応力 τ_{xy} の最大となる位置から、両者の応力が IC の破壊に寄与しているものと考えられる。

最後に、実験試料を提供くださされたアキタ電子㈱の関係各位に感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 相良岩男：静電気学会誌, 13 (1989) 132
- 2) 小川 修：電子材料, 1989 年 12 月号 (1989) 27
- 3) R.B. Jordan : *Proceedings of 31st Electronic Component Conference*, p. 130, IEEE (1981)
- 4) K.M. Liechti and P. Theobald : *Proceedings of 34th Electronic Component Conference*, p. 203, IEEE (1984)
- 5) S. Groothuis, W. Schroen and M. Murtuza : *23rd Annual Proceedings*, p. 184, Reliability Physics, IEEE (1985)
- 6) 辻 二郎, 西田正孝, 河田幸三：光弾性実験法, p. 9, 日刊工業新聞社 (1965)
- 7) 長谷川純一, 舟水大和, 中山 晶, 横井茂樹：画像処理の基本技法〈技法入門編〉, p. 25, 技術評論社 (1987)