

最近の技術から

赤外線顕微鏡

小林 正信・小野 晃

計量研究所 〒305 つくば市梅園 1-1-4

1. まえがき

ここで話題とする赤外線顕微鏡は、微小な対象物の表面から発せられた熱放射を動的に画像化する装置である。室温に近い温度の物体が出す熱放射のほとんどは、波長が $3\text{ }\mu\text{m}$ から数十 μm の赤外線である。反射光ではなく、対象物自身が出す熱放射を画像化した熱画像からは、表面温度分布と放射率に関する情報が得られる。

熱画像を動的に取得する装置としては熱画像装置があり、1950代より用いられてきた¹⁾。微小な対象物の熱画像を取得する必要がある場合、熱画像装置に接写レンズ等を取り付けて用いるのが一般的である。

近年、従来よりも微細な対象物の熱画像が得られる、専用の赤外線顕微鏡が実用化された。その空間分解能は約 $10\text{ }\mu\text{m}$ とされている。また、熱画像装置も近年高性能化され、数十 μm の空間分解能で、かつ高速に熱画像を取得できるようになった。

2. 赤外線顕微鏡の構造

現在実用化されている赤外線顕微鏡は、図1に示す構造のものである。検出器は単素子のInSbで、波長帯域は $3\sim 5\text{ }\mu\text{m}$ である。光学系は振動鏡等の走査機構を持たず、一点を観測するだけである。走査は対象物を乗せるステージを前後左右に振動させて行ない、2次元の画像を構成している。

熱放射は対象物だけからではなく、光学系内部を含む、あらゆる物体の表面から発せられている。対象物から発せられた信号放射を、周囲から発せられた不用な背景放射から分離するため、チョッパーを用いて信号放射を変調している。

波長に比例して回折による空間分解能の低下が起こるため、赤外線顕微鏡では可視光の顕微鏡よりも空間分解能が低くなってしまう。収差のない光学系の空間分解能は波長と口径比の積にほぼ等しいから、高い空間分解能を得るために口径比のできるだけ小さい、明るい光学系を用いる必要がある。図1の装置では光学系が一点を観

測するだけであるので、画角が非常に狭く、それによって明るいカセグレン型対物鏡の使用を可能にしている。

しかし、ステージを振動させる方式の走査は遅く、1画面を取得するために必要な時間（フレームタイム）は数十秒と長くなってしまう。また、対象物自身が振動するために、測定できる物が限られてしまう。高速性が要求される場合や対象物を固定する必要のある場合は、汎用の熱画像装置に拡大、接写レンズ等を取り付けて赤外線顕微鏡を構成することになる。

熱画像装置を用いた赤外線顕微鏡の構造の例を図2に示す。図1の装置との本質的な違いは、光学系が走査機構を持ち、2次元の観測をしているということである。検出素子は $5\text{ }\mu\text{m}$ 帯用では InSb が、 $10\text{ }\mu\text{m}$ 帯用では HgCdTe がおのおの主に用いられている。図2の例では水平走査をポリゴン鏡で、垂直走査を振動鏡で行なっている。撮像レンズで無限遠に焦点を結んだ状態で拡大レンズを用い、さらに接写レンズで至近距離に焦点を結ばせる。背景放射の影響は、温度既知の内蔵参照黒体を観測したときの出力を用い、背景放射の量を検出することで取り除いている。空間分解能は専用の赤外線顕微鏡よりも低いが、高速に熱画像を取得することができる。熱画像装置のフレームタイムは $1/30$ 秒から 4 秒程度である。また、幅広い対象物に対応することができる。

3. 計測、検査への応用

赤外線顕微鏡の代表的な用途として、IC 内部のように微細な構造をもつものの表面温度分布の計測がある。この場合に問題となるのは、対象物の放射率である。通常、熱放射によって温度を測定する装置は、対象物が黒体で放射率が 1 の場合に正しい値を示すように校正されている。塗料等によって対象物を黒化し、放射率を 1 に近づけることで測温精度を簡単に上げることができるが、微小な対象物では黒化することによって表面温度分布が大きく変わってしまう。また、校正のために熱電対等を対象物に接触させることも、表面温度分布を変化させてしまう。定常的な発熱であれば、空間分解能の高い

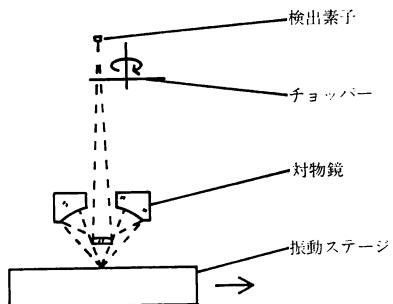


図 1 赤外線顕微鏡の構造

光学系は走査機構をもたず、測定対象物を乗せるステージを振動させて2次元の走査を行なう。

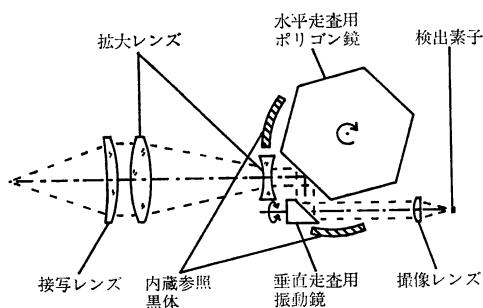


図 2 热画像装置を用いた赤外線顕微鏡の構造
热画像装置に拡大レンズおよび接写レンズを取り付ける。

図 1 の装置が適している。

当所ではレーザーフラッシュ法による熱拡散率測定に、図 2 の形式の装置を用いている²⁾。試験片の表面をパルスレーザーで加熱し、裏面の温度上昇から熱拡散率を求める。通常、裏面の温度は一点のみを測定するが、温度分布を測定することでレーザー光の照射むらの影響を取り除くことができる。きわめて速い応答が必要なため、温度分布は1次元で測定している。1ラインを400 μs で走査することができる。

熱画像を用いた非破壊検査が試みられている³⁾。ヒーター、フラッシュランプ、レーザー等で試料を加熱すると、内部に気泡等の欠陥のある部分の表面は他と異なる

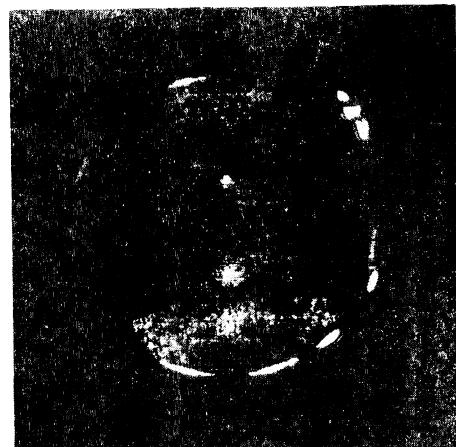


図 3 热画像を用いた非破壊検査

加工用セラミックにドリルで欠陥を作り、ステンレス箔に貼り付けて直流通電加熱した。白い円が検出された欠陥。

温度になり、赤外線顕微鏡を用いて検出できる。

図 3 に非破壊検査の例を示す。直径 30 mm, 1.5 mm 厚の機械加工用セラミックを試料とした。上側から 5 mm 間隔で縦一列に 0.8 mm, 1.5 mm, 3 mm, および 6 mm のドリルで人工的な欠陥を作った。試料の裏側から穴を開け、0.8 mm は貫通して表面に 0.3 mm 程度の穴が開いているが、それ以外の径のドリルは表面の近くで止めた。試料をステンレス箔に貼り、直流を通電して加熱した。試料が半透明なため、表面を黒色塗料（ドライイグラフィットフィルム）で黒化した。図 2 の形式の装置で観測した結果、3 mm と 6 mm の欠陥が検出できた。図 3 の下側に二つ縦に並んだ、白くぼんやりとした円が欠陥である。それらの上にある白い点は、貫通した穴である。白い所が温度の高い所である。

文 献

- 1) J. M. Lloyd: *Thermal Imaging Systems* (Plenum, New York, 1975).
- 2) T. Arai, T. Baba and A. Ono: *High Temperatures-High Pressures* 19 (Pion, London, 1987) pp. 269-273.
- 3) G. J. Trezek and S. Balk: Mater. Eval., 34 (1976) 172-176.

(1988年5月28日受理)