IC プラスチックパッケージの YAG レーザ 照射によるマーキング*

手塚 信一** 吉川 昌範***

Marking of IC Package by YAG Laser Irradiation

Shinichi Tezuka and Masanori Yoshikawa

Generally, in the laser marking, surface roughness or grooves produced by laser irradiation are utilized for distinction; however, it is hard to distinguish the marked characters or symbols clearly. In this report, the laser marking of IC plastic package making use of the change in color has been described. By this marking method, the characters and symbols marked can be distinguished clearly. Effects of laser irradiation conditions for the change in color are studied, and the laser marking experiment of IC package, which consists of SiO₂ powder, carbon black and epoxy resin matrix is conducted. Occurrence of the change in color is controlled by varying irradiation power, irradiation time and irradiation atmosphere. It is found that the change in color occurs under the suitable energy power density, and the O₂ gas has the effect on shortening the irradiation time until the change in color occurs. The mechanism of the change in color can be explained as follows: after epoxy resin matrix and carbon black are removed, SiO₂ powder is melted by laser irradiation; SiO₂ powder which includes many pores are sintered; this sintered SiO₂ changes the color from black to white by diffused reflection. These phenomena can be applied to laser marking of IC package for subtle distinction.

Key words: laser marking, YAG laser, IC package

1. はじめに

レーザービームを利用した加工技術の一つにマーキングがある。レーザーマーキングは、非接触加工のため材料の表面状態に影響されにくく、高速化や自動化がしやすく、微細な文字でもマーキングしやすいなどの利点があり、半導体製品のパッケージや電子部品、機械部品などの商品名やロット番号のマーキングに実用化されている。

レーザーマーキングには、表面に凹凸などの形状変化を起こさせて識別する方法、表面に変色を起こさせて識別する方法がある¹⁾。現在では表面形状の変化を起こさせて識別するものが多い。しかし、半導体製品のパッケージのマーキングは微細であり、表面の形状変化だけでは不鮮明である。鮮明にするためには変色をともしマーキング法を見いだす必要があり、その可能性があれば、より鮮明なマーキングが行える。

本研究の目的は、半導体封止用材料として使用されているエポキシ樹脂系封止材料に、各種条件下で YAG レーザを照射し、その時の表面状態の変化を観察しながら、エポキシ樹脂系封止材料に、鮮明な文字や記号を記すことのできるマーキング条件を解明し、そのエポキシ樹脂系封止材料の変色メカニズムを明らかにすることにある。

2. 実験方法

レーザー照射条件を表 1 に示す。使用した YAG レーザには Q スイッチが内蔵されており、平均出力で最大 12W の連続発振と、尖頭値出力で最大 23kW のパルス発振

Table 2 Laser irradiation conditions

YAG laser system	TEM ₀₀
Mode	0 - 12 W
Average power	1 - 99 kHz
Pulse repetition	50 mm
Focal length	0.01 - 30 s
Irradiation time	1 - 10 mm/s
Traverse velocity	O ₂ , Air, Ar,
Atmosphere	Vacuum

* 原稿受付 平成 2 年 10 月 25 日、1990 年度精密工学会春季大会学術講演会(平成 2 年 3 月 30 日)にて発表

** 学生会員 東京工業大学 工学部 (東京都目黒区大岡山 2-12-1)

*** 正 会 員 東京工業大学 工学部

Fig.1 SEM image of the surfaces of the IC packages irradiated YAG laser with various average power

振が可能である。発振したレーザビームを焦点距離50 mmのレンズで集光し、試料表面に照射した。試料は可動テーブル上に固定されており、1~10 mm/sで移動することができる。照射雰囲気は、チャンバ内のガスを変えることによって調整することができる。

マーキング実験に使用した半導体封止用材料は、粒径10~20 μm の石英ガラス粉、エポキシ樹脂および微量のカーボンブラックを温度180℃、圧力70 kgf/cm²で成形した後、175℃で5時間硬化させたものである。封止用材料には微量のカーボンブラックが含有されており、黒色を呈している²⁾。この硬化物を3cm⁴×2cm⁴×0.5cm⁴の形状に切り出し、被マーキング試料とした。

3. 実験結果および考察

3.1 スポット照射部の形状および変色

レーザマーキングには、材料表面に凹凸など、なんらかの形状変化を起こさせる方法、材料表面を変色させる方法、およびこれらを併用する方法がある。そして、レーザ照射による熱影響部、加工変質層ができるだけ小さいことが望ましい。

そこで、まずYAGレーザで照射エネルギー密度を変化させてスポット照射を行ったとき、試料の表面層にどのような形状変化が起こるかを調べた。

図1は、空气中でレーザビームの焦点を試料表面に合わせ、レーザの照射エネルギー密度を変化させて、0.3秒間スポット照射したときの試料表面をSEM観察したものである。照射エネルギー密度が大きいと、炎やすすを伴って燃えた後、同図(a)のように照射部

は高さ数百 μm 程度の円すい状に盛り上がる。この場合、試料表面は大きく形状変化して、肉眼ではつきりと識別できるが、形状変化が大きく、また変質層が大きいためにマーキングには適さない。

照射エネルギー密度が小さいと、同図(b)のように肉眼でわずかに観察されるほどの数 μm 程度の半球状の盛り上がり観察されたり、同図(c)のように深さ数 μm ~数十 μm の穴が観察されたりする。このようなわずかな形状変化では、熱影響による変質層は小さいが、肉眼で鮮明に識別することはできない。

ビーム焦点位置を試料表面にあわせると、照射エネルギー密度が高すぎて試料表面が燃え出し、平均出力やピークパワーを変化させてもマーキングに適する照射条件を見いだすことは難しかった。そこで、レーザビームの焦点を表面からはずすことによって、エネルギー密度を調整することにした。

ビームの焦点位置を試料表面から下方に0.84mmはずすことによって照射エネルギー密度を小さくし、空气中で0.5秒間照射したときの表面状態を観察した。平均出力やピークパワーを変化させることによって、図2に示すように表面がわずかに盛り上がった状態で、照射部が黒色から白色に変色することがある。これは照射部を実体顕微鏡で観察したもので、写真のコントラストは肉眼で観察したときとほぼ同じである。このような変色現象を利用することにより鮮明なマーキングが可能であると考えられる。

レーザ照射条件を変化させて実験を行ったところ、照射部が黒色から白色に変色するための、照射時間、照射雰囲気およびレーザ照射エネルギー条件が存在す

Fig.2 Color changing surface irradiated by laser

Fig.3 IC package surfaces irradiated at each irradiation time

Average power 1 W
Pulse repetition 1kHz
Defocus distance 0.84 mm

Fig.4 Relation between laser irradiation time and diameter

ることがわかった。

図3は、空气中でレーザ照射時間を変化させて加工したときの、試料表面の実体顕微鏡写真である。試料表面はレーザ照射時間が長くなるにつれてレーザ照射部の形状変化が大きくなると共に、一定以上の照射時間で白く変色することがわかる。

照射雰囲気酸素、空気およびアルゴン中で、ビームの焦点は少し距離0.84mmでレーザ照射したときの試料表面を観察したところ、アルゴン雰囲気中ではレー

Fig.5 Relation between defocus distance and color changing time

ザ照射時間が長くなっても照射部は変色しなかったが、酸素および空気中では変色することがわかった。図4は、酸素雰囲気中でレーザ照射したときのレーザ照射時間と表面の形状変化した範囲の直径との関係を示したものである。図中、白ぬきでプロットしたものは黒色から白色に変化したことを示している。照射時間が長くなるにつれ、形状の変化する範囲が広がり、一定の時間以上で変色する。そして、酸素分圧が高いほど、より短い照射時間で変色することがわかる。

次に、レーザ照射エネルギーを変化させるために、ビーム焦点位置と平均出力を変化させて実験を行った。図5は、レーザビームの焦点は少し距離と照射部が変

Fig.6 Relation between average power and diameter of heat affected area

色し始めるレーザ照射時間との関係を示したものである。図中、斜線領域では変色が起こり、無斜線領域では変色起きない。つまり、レーザ照射部を変化させるためには、ビームの焦点位置が表面に近く照射エネルギー密度が大きい場合、及び逆にビームの焦点は少し距離が大きすぎて照射エネルギー密度が小さすぎる場合に、照射時間を長くする必要があることがわかる。図6は、レーザの平均出力と照射部の形状が変化した範囲の直径との関係を示したものである。図中白ぬきでプロットしてあるものは、照射部が白く変色したことを示している。平均出力が大きいほど表面の形状が変化した範囲の直径および変色した範囲は大きくなるが、変色させるためには照射時間を長くする必要があることがわかる。

以上のことから、照射部を白く変色させるためには酸素の存在が必要であり、照射雰囲気中の酸素分圧が高いほど短い照射時間でよいことがわかる。

(a)
Average power 3 W
Pulse repetition 10 kHz
Irradiation time 1 s
Atmosphere Air

(b)
Average power 3 W
Pulse repetition 1 kHz
Irradiation time 4 s
Atmosphere Air

(c)
Average power 3 W
Pulse repetition 10 kHz
Irradiation time 4 s
Atmosphere Ar 300 μm

Fig.7 Cross section of IC package irradiated by laser

3.2 変色部の観察

レーザの照射条件によって、半導体封止材料は照射部が変色することがわかった。この変色した照射部がどのような状態になっているかを観察した。

図7は、照射部の断面を実体顕微鏡で観察したものである。同図(a)は変色部が半球状に盛り上がって変色している場合、同図(b)は穴があいて壁面が変色している場合である。同図(c)はアルゴン雰囲気中で照射したために変色しなかった場合である。いずれの場合でも照射部は多孔質状態になっており空隙が多いことがわかる。

レーザ照射によって酸素雰囲気中で加熱された試料

Fig.8 Cross section of IC package includes cracks

では、カーボンブラックやエポキシ樹脂、石英ガラスのいずれかが除去されることが考えられる。そして、カーボンブラックやエポキシ樹脂が酸化して気化し、石英ガラス粉が溶融凝固して多孔質状態になると、光が乱反射して肉眼で白く見えるようになると考えられる。一方、カーボンブラックが酸化されずに除去されないと、照射部は変色しないと考えられる。

変色する条件下でも、照射条件によっては図8にみられるように、変色部の界面でクラックの観察される場合がある。このような状態の時には変色部は試料表層部から容易に剥離したり脱落してしまう。スコッチテープ法によって変色部の付着強度を調べた結果、照射エネルギーが大きいほど、変色部が剥離したり脱落しやすくなることがわかった。これは、照射エネルギーが大きくなるほど変色部の界面にクラックが発生しやすくなることとほぼ一致している。

この剥離したり脱落して取り出された白色物質は、カーボンブラックを含まない、石英ガラス粉の溶融凝固したものであった。

以上のことから、半導体封止材料が黒色から白色に変色するメカニズムについて考察した。図9に従って説明すると、ビームの焦点位置を試料表面から外したりして照射エネルギー密度を小さくした場合は、同図(a)のように、レーザ照射によってエポキシ樹脂、カーボンブラックおよび石英ガラス粉が高温に加熱され(1)、まずエポキシ樹脂の一部が溶融気化して除去され(2)、次いでカーボンブラックが酸化気化して除去される(3)。カーボンブラックの酸化速度は、照射雰囲気酸素分圧が高いほど大きく、酸素が存在しないと除去されない。また、石英ガラス粉は除去されずに溶融凝固して試料表面に盛り上がった状態で残存する(4)。この過程で、エポキシ樹脂が除去されるのでレーザ照射前に比べて溶融凝固した石英ガラス中に空隙が生ずる。従って、レーザ照射後には空隙をもった溶融凝固した石英ガラスが存在し肉眼で白く見えることになる。

Fig.9 Mechanism of color changing

ビームの焦点位置を試料表面にあわせたりして照射エネルギー密度の大きい場合には、同図(b)のようにレーザ照射によって高温に達したエポキシ樹脂、カーボンブラックおよび石英ガラス粉が溶融したり、蒸発したりして除去され穴の掘られる状態になるが、穴の壁面に照射されるレーザビームは、焦点をはずしたときと同じ状態になり、照射エネルギー密度の小さい場合と同様になって白色に変色する。

3.3 レーザマーキングへの適用

レーザマーキングではマスクなどを介して被マーキング材料にレーザ照射する方法と、レーザビームを走査させてマークする方法とがある。本研究では、レーザビームを走査することにより、ライン形状にマーク

(a) (b) 600 μ m

Fig.10 Surface of IC package marked by laser
(a) by color changing
(b) without color changing

することを試みた。

照射条件をスポット照射の場合と同様にして照射エネルギー密度、テーブル走査速度および照射雰囲気を選定することにより、白く鮮明にマーキングすることができる。図10(a)は、酸素雰囲気中で繰返し周波数1kHz、平均出力4W、焦点はずし距離0.84mm、ビーム走査速度1mm/sでレーザービームを2往復させた時の表面の変色状態を実体顕微鏡で観察したものである。図10(b)は空気中で繰返し周波数70kHz、平均出力3W、焦点はずし距離0.84mm、ビーム走査速度5mm/sでレーザービームを2往復させて試料表面に形状変化を起こさせてマーキングしたものである。表面形状を変化させただけでは、マーキングとして不鮮明であるが、白く変色することによって鮮明にマーキングができることがわかる。

また、試料を移動させることによって、図11のように、直線や曲線を描いたり、照射エネルギーを変化させることによってマーキングの太さを変化させたり、ビーム照射部を重複させたりすることによって所望の面積をマーキングしたりすることができる。

4. ま と め

半導体封止材料として使用されているエポキシ樹脂系封止材料に各種条件下でYAGレーザを照射し、その表面状態の変化を観察することによって、鮮明にマ

Fig.11 Application of laser marking by color changing

ーキングできる条件を見いだすことを目的に実験を行い、以下のことを明らかにした。

- (1) レーザ照射のエネルギー密度、照射時間、照射雰囲気を選定することによってカーボンブラック、エポキシ樹脂が除去され、石英ガラス粉が溶融凝固することにより照射部を黒色から白色に変色することができる。
- (2) 表面で白色に変色するには一定の照射時間が必要である。そして、照射雰囲気の酸素分圧の高いほど短い照射時間でよい。
- (3) 照射エネルギー密度が小さいと、変色するための照射時間が長くなり、照射エネルギー密度が大きいと照射部に穴が掘られたのち変色が始まるので、変色に要する時間は長くなる。
- (4) 白色に変色した照射部は肉眼で鮮明に識別でき、半導体封止材料のマーキングに適用することができる。

参 考 文 献

- 1) 小林 昭：レーザ加工技術実用マニュアル，技術開発センター，東京，(1987) 275。
- 2) 村上 元：表面実装形 LSIパッケージの実装技術とその信頼性の向上，日立製作所半導体事業部，東京，(1988) 165。