レーザによる透明薄膜の除去加工

非会員 若林 直木* 非会員 井手 隆裕**

非会員 青木 康* 非会員 磯 圭二*** 正員 林 健一****

Removal Processing of Transparent Thin Film by Lasers

Naoki Wakabayashi*, Non-member, Takahiro Ide**, Non-member, Yasushi Aoki*, Non-member,
Keiji Iso***, Non-member, Ken-ichi Hayashi****, Member

A new drilling technique is proposed for removing polymeric layer formed on conductive layer using IR laser light, which is not absorbed by the polymeric layer sufficiently for ablation. In this technique, a piece of polymeric film was blown off after a single shot of radiation. To apply this process to laser drilling, we have systematically measured changes in size of the resulting hole with the fluence, the irradiation area and the thickness of a polymeric layer. We also investigated the mechanism of this process by luminescence spectroscopy of the irradiated samples. We observed sharp peaks in the spectrum in the case of single laser irradiation of 8.6 J/cm^2 while such intense peaks could not be seen when the irradiation pulse energy decreased to 1.2 J/cm^2 . Thus, the polymeric film was removed without violently decomposition to atomic species. Advantages of this technique are (1) the polymeric layer can be completely removed within a certain area by a single shot of laser pulse, and (2) it is possible to escape from problems such as debris, smear and delamination, which occurs when CO_2 lasers or UV laser is used.

キーワード：レーザ穴あけ，プリント基板，IR光，透明材

Keywords: Laser drilling, Printed circuit board, IR light, Transparent material

1. はじめに

近年，携帯電話による動画・静止画の送受信やインターネット接続などを始めとして，小型電子機器の機能拡張が格段に進み，機器の小型化とあいまってプリント配線基板の高密度化が要求され，多層プリント基板に微細な穴あけ加工を高速かつ高エネルギー効率で行うことが望まれている。多層プリント基板の高分子材料の穴あけ加工には，赤外域で発振する CO_2 レーザを光源としたレーザアブレーション加工法が一般的に使用されてきたが，基板の高密度化による小径化に対応して，より波長の短い Nd:YAG レーザ

の高調波（3倍波）が用いられるようになってきた⁽¹⁾。

レーザアブレーション加工においては，プリント基板に用いられている高分子材料に吸収される発振波長のレーザ光源が必要である。多層プリント基板では，穴あけ加工の対象である高分子層の厚さは $50\mu\text{m}$ 前後と薄く，下部に導電層が埋め込まれており，最深部にはガラス繊維等で強化されたコア材が存在している。加工プロセスに対しては，スルーカットの向上だけではなく，デブリ，デラミネーション，導電層の熔融などの課題を解決して，より信頼性の高い加工が必要とされる。

ここでは，従来のアブレーション加工と異なる新しい多層基板の穴あけ加工方法を提案する。石英基板上の数 10nm 厚の銅薄膜に基板側から石英に透明な波長のレーザ光を照射すると，銅薄膜を石英基板の界面から吹き飛ばし，対向して置かれた別の基板に付着させることができる LIFT 法が知られている⁽²⁾⁽³⁾。また，透明絶縁層薄膜を下地の導電体層から除去するのに，透明薄膜側からレーザを照射し導電体層表面をアブレーションして，上層の透明薄膜だけを除去することも可能である⁽⁴⁾。新しい多層基板の穴あけ加工方法の提案は，高分子層の表面側から高分子層に対してほぼ透明な波長のレーザ光を 1 パルス照射して，高分子膜を基板外側に向かって飛び出させ，導電層を露出させる穴開け加

* 住友重機械工業／技術開発センター
〒188-8585 東京都西東京市谷戸町 2-1-1
Sumitomo Heavy Industries, Ltd. / R&D Center,
2-1-1 Yato-cho, Nishitokyo-city, Tokyo 188-8585

** 住友重機械工業／技術開発センター
〒237-8555 神奈川県横浜須賀市夏島町 19
Sumitomo Heavy Industries, Ltd. / R&D Center,
19 Natsushima-cho, Yokosuka-city, Kanagawa 237-8555

*** 住友重機械工業／レーザ事業センター
〒237-8555 神奈川県横浜須賀市夏島町 19
Sumitomo Heavy Industries, Ltd. / Laser Center
19 Natsushima-cho, Yokosuka-city, Kanagawa 237-8555

**** ㈱ニデック レーザ研究室
〒443-0038 愛知県蒲郡市拾石町前浜 34-14
Laser Research Laboratory, Nidek Co., Ltd.
34-14 Maehama, Hiroishi-cho, Gamagori, Aichi 443-0038

工を行うものである⁽⁵⁻⁷⁾。従来のアブレーション加工では、表面から高分子層を除去して行くため数 10 ショット以上のレーザ光照射が必要であるが、本加工法は高分子層を透過したレーザ光が導電層の界面から高分子層を除去する。本加工法には、1 ショット加工によるスループットの向上だけでなく、従来のアブレーション加工プロセスで問題となるデブリ、デラミネーション、導電層の熔融などの問題点を回避できるメリットがある。

本報告では、新しい加工法による加工穴径の制御性について照射ビーム径やレーザフルエンス、高分子層の厚さを変化させて検討した結果を示し、レーザ照射時に飛び出す高分子片の観察や、加工の際に生じるブルーームのスペクトル分析に基づいて加工メカニズムに関する考察を行う。

2. 実験方法

プリント基板穴あけ加工には、全固体 Nd:YLF レーザを用いた。発振波長は 1047nm でパルス幅 15ns、最大パルスエネルギーは 3mJ である。このレーザ光を図 1 に示すように、ピンホールを通過させた後、集光レンズで 2 軸ステージにセットした多層プリント基板上に縮小率 4 - 20 でイメージ転写することで、スポットサイズを 50 - 500 μ m に制御して加工を行った。Nd:YLF レーザの基本波である 1047nm 光に対してほぼ透明であるエポキシやベンゾシクロブテン等数種類の高分子材料を樹脂層として持つプリント基板に対して加工を行った。本報告では最も一般的な材料の 1 つであるエポキシ材に行った実験結果を中心に述べる。なお、プリント基板の導電層には銅を用いた。樹脂層の厚さは 35 μ m - 60 μ m であり、高分子層をサンドペーパーで研磨することで膜厚を適宜調整して、加工穴の穴径ならびに高分子層の厚さを光学顕微鏡にて測定した。

本加工の除去機構を調べるために、以下の 2 つの光学的な手法を用いた。

まず、プリント基板に IR 光を照射した後に生じる発光を分光器を通した後に高感度 ICCD カメラで検出することにより、発光スペクトルを測定した。観測した波長範囲は 200 - 600nm である。

次に、He-Ne 光をエクスパンダにて約 15mm まで拡大し基板表面近傍（約 10mm）で照射 IR 光と交差する様に基板表面に対し平行に通し、IR 光が照射された後の基板表面付

図 1 加工試験用照射システム
Fig. 1. The experimental setup.

近での様子をゲート付 ICCD カメラで写真撮影を行った。実験では撮影のコントラストを上げるために、Nd:YLF の励起用レーザダイオードの Trigger 信号に適宜 Delay をかけて ICCD カメラをトリガし、レーザパルスに同期した測定を行った。

3. 実験結果

〈3・1〉 穴径・穴形状制御性 図 2 (a) にパルスエネルギー 180 μ J で加工したベンゾシクロブテン樹脂層（厚さ 35 μ m）のプリント基板の電子顕微鏡写真（SEM 写真）を示す。円状に見える部分が露出した下地 Cu 導電層であり、その周囲の白い輪が加工により生成した高分子層のテーパ面である。本加工のしきい値は 100 μ J 程度である。図 2 (b) に、レーザ照射した後飛び出した高分子片の SEM 写真を示す。この高分子片は加工試験後に基板周辺で採取したものである。つまり、レーザ照射により加工穴と全く同じ形状の高分子片が飛び出したことになり、表面からエッチングして行くアブレーション加工と全く異なる機構が本加工法では働いていると考えられる。

図 3 に照射ビーム径を 195 μ m に固定し、フルエンスを 1.1 J/cm² から 4.8 J/cm² で変化させた時の加工穴の形状変化を示す。黒く見える輪は穴を真上から見た時の高分子層のへき

図 2 IR 光 1 ショット照射後 (a)加工された穴形状
(b)飛び出した高分子薄膜

Fig. 2. The SEM images of the resulting (a) holes and (b) a blown-off part of polymeric layer after a single shot of radiation.

図 3 加工穴のフルエンス依存性（照射ビーム径 195 μ m）
Fig. 3. The changes in hole shape with changing irradiation fluence (1.1 - 4.8 J/cm²). Diameter of irradiated area was fixed to 195 μ m.

開面, すなわちテーパ面であるが, フルエンスを増加させると幅が狭くなってゆく傾向が得られている。言い換えれば, 穴のテーパ角が垂直に近づき, 開口率 (穴底の径/表面の径) が1に近づいている。また穴の形状も歪みのない円形になる。同様の実験を3つのビーム径 (195 μm , 105 μm , 50 μm) で行い, フルエンスと開口率の関係を図4にまとめた。いずれの照射ビーム径においても, フルエンスを変化させることである程度の範囲で開口率の制御が可能であることがわかる。

パルスエネルギーを固定, すなわちフルエンス一定として高分子層厚さを変化させた試料に対して照射を行ったとき

図4 加工穴径のフルエンス依存性 (白抜きは高分子表面での穴径、塗りつぶしは高分子/導電層の界面における穴径)

Fig. 4. The dependence of the hole diameter on the fluence and the diameter of the irradiated area. (Filled symbols : diameters at the bottom of the hole, open symbols : diameter at the top of the hole.)

図5 穴径の膜厚依存性 (スポットサイズ: 105 μm)

Fig. 5. The dependence of the hole diameter on the thickness of polymeric layer. (Diameter of irradiated area was 105 μm)

の, 樹脂層表面(Top)と樹脂層/導電層界面(Bottom)における穴径の変化を3つのフルエンス (8.0, 11.6, 15.3 J/cm^2) について測定した結果を図5に示した。同じフルエンスによる加工でも, 高分子層が薄くなることで加工穴径が小さくなる傾向が得られている。またフルエンスを小さくすることにより穴径は小さくなっている。

〈3・2〉 穴径・穴形状制御性 穴あけ加工しきい値以上のパルスエネルギーでIR光の1ショット照射を行った際に生じる発光のスペクトルを図6に示す。点線はフルエンス8.6 J/cm^2 照射で得られた発光の分光結果であり, 実線は加工が可能で最小のフルエンス1.2 J/cm^2 での発光スペクトルである。高フルエンス照射では, 幅の狭いスペクトルを観察することができ, 従来のアブレーションと同様に原子・分子状で高分子の分解生成物が空中に飛び出していると考えられる。これに対して低フルエンス照射では鋭いピークが観察されなくなり, 原子・分子状の飛散物がほとんど発生しないことを示していると考えられる。400nmより長波長側に見られるブロードな発光は両スペクトルに共通して観測されており, IR光による1ショット加工の駆動力と関連が深いものと考えられる。このことから, 高分子の結合をガス状の原子や分子にまで切断することなく高分子片を基板より除去する機構のため, 本加工法は1パルスごとに表面からエッチングを進める従来のアブレーション加工と比べ非常にエネルギー効率の高い穴あけ加工であると考えられる。

〈3・3〉 高分子薄膜の飛行速度 図7(a)にIR光照射後に表面から高分子片が飛び出す様子をHe-Neレーザ光の散乱光として高感度CCDカメラで捉えた画像を示す。図4では, ビーム径, フルエンスによりある程度の加工穴の制御が可能であることを示したが, フルエンスが高くなると, 図7(b)に示すように高分子片は複数個に割れて飛び出す様

図6 加工時に観測される発光スペクトル (点線: 8.6 J/cm^2 , 実線: 1.2 J/cm^2)

Fig. 6. Spectra of the plume (dashed line : 8.6 J/cm^2 , solid line : 1.2 J/cm^2)

子を観察した。図8にビーム径を固定してIR光を照射した時に飛び出した高分子片の飛行速度と照射フルエンスの関係を示す。CCDカメラのdelayを適宜変化させて、飛び出

図7 1ショット照射後に飛び出す高分子のICCD像、(a)光学系、(b)飛行高分子片のエネルギー依存性

Fig. 7. The ICCD image of emission of polymers after a single shot of radiation. (a) optical setup, (b) the dependence of the pulse energy.

図8 1ショット照射後の高分子片の飛行速度

Fig. 8. The flying speed of polymeric film after a single shot of radiation.

した高分子片の位置の変化を観測し、その飛行距離を delay の時間差で除することで、高分子片の飛行速度を測定した。ビーム径 500μm(●)では、今回調べたフルエンス範囲では、高分子の割れは観察しなかった。しかしながら、ビーム径を 200μm(▲)にするとしきいフルエンス近傍(≦0.8J/cm²)を除くほとんどのフルエンスで高分子片の割れが生じた。フルエンスが加工しきいフルエンスよりもはるかに大きくなると、肉眼で確認できるほどに遅い速度で飛び出す割れた高分子片の一部が観察される場合がある。よって、フルエンスが 1 J/cm² を越えるとそれよりフルエンスが小さい時よりも傾きが緩くなるのは、高分子片に割れが生じて飛び出すための力を受け難くなるためと考えられ、このため 3.2 J/cm² では極端に速度が減少してしまったものと考えられる。

4. 考察

前節では、1μm 程度の波長の IR 光をプリント基板高分子層側から下地金属層に向けて 1 ショット照射することで、高分子層を薄膜のまま除去することができることを実験的に示した。図2および図6に示したように、本加工は UV 光によるアブレーション加工のように照射ごとに表面から高分子材料を原子・分子レベルまで分解することで少しずつエッチングを進める加工とは全く異なる機構を持つ。これは樹脂層を形成する高分子材に対してほぼ透明な波長である Nd:YLF レーザの基本波 (波長 1047nm) が高分子層を通り抜け導電層との界面まで達し、その界面で高分子層の除去加工を行う駆動力を発生させていると考えられる。高分子層が近赤外の光に対してほぼ透明であるのに対して、下地金属層の銅はこの波長で反射率が高いが⁽⁸⁾、高分子材に比してはるかに光吸収率は大きい (約 10~20%程度⁽⁸⁾の吸収を持つ)。したがって銅へのレーザ照射について検討する。半無限固体についての一次元熱伝導方程式は、初期温度が $T_0(K)$ 、表面熱流速が $q_0(W/m^2)$ であるとき

$$T - T_0 = \frac{2q_0\sqrt{at}}{\lambda} \left[\frac{\exp(-x^2/4at)}{\sqrt{\pi}} - \frac{x}{2\sqrt{at}} \operatorname{erfc}\left(\frac{x}{2\sqrt{at}}\right) \right] \quad (1)$$

と表せる⁽¹⁰⁾。ここで a : 熱拡散率(m²/s)、 λ : 熱伝導率(W/m/K)、 t : パルス幅(s)であり、関数 $\operatorname{erfc}(x)$ は誤差関数 $\operatorname{erf}(x)$ に対して $\operatorname{erfc}(x) = 1 - \operatorname{erf}(x)$ の関係を持つ。金属は光の波長により光反射率が異なるので、反射率を R として(1)式は以下の式で表される⁽¹¹⁾。

$$T - T_0 = \frac{2q_0(1-R)\sqrt{at}}{\lambda} \left[\frac{\exp(-x^2/4at)}{\sqrt{\pi}} - \frac{x}{2\sqrt{at}} \operatorname{erfc}\left(\frac{x}{2\sqrt{at}}\right) \right] \quad (2)$$

エポキシ樹脂、シアネート樹脂の熱分解温度はそれぞれ 350℃、250℃程度であり、(2)式に銅の波長 1μm における反射率 $R=0.8$ を代入すると、銅表面($x=0$)が高分子の分解温度に達するにはそれぞれ 0.7J/cm²、0.5J/cm² のフルエンスが必

要である。ここで図9にビーム径を変化させたNd:YLF基本波を、高分子層にエポキシ樹脂またはシアネート樹脂を配置したプリント基板に1パルス照射したときの加工しきいフルエンスの変化を示す。照射ビーム径が大きくなると加工しきいフルエンスは小さくなり、エポキシ樹脂で $0.8\text{J}/\text{cm}^2$ 、シアネート樹脂で $0.5\text{J}/\text{cm}^2$ 程度に漸近して行く傾向が見られる。これらの値は先の熱分解温度に銅面が達するのに必要なフルエンスに近い値となっている。以上の結果から、本加工法での高分子材の除去を行う際の駆動力は、界面近傍の高分子材の熱分解により発生する圧力であると考えられ、このことに基づき図10に示した加工の機構が提案できる。まず、高分子層を通り抜けたレーザー光は一部銅に吸収され(図10(a))、吸収された光エネルギーが熱に変換され、その熱が界面を通して高分子材に伝導し、高分子材の熱分解を瞬間的に誘起する(図10(b))。このため界面で急激な圧力上昇が生じ、照射領域近傍の高分子層は基板外側に力を受け、高分子層の剥離が生じる。界面上で剥離が進行する中で、高分子膜に与えられるせん断応力と引張応力が高分子材の破壊応力を超える点で亀裂が発生・進展する(図10(c))、この亀裂が表面まで達すると高分子片は完全にフリーな状態となり、そのとき受けていた圧力に相応した運動エネルギーでプリント基板から飛び出す(図10(d))、と考えられる。図8の高分子片の飛行速度変化はこの様子を示していると考えられる。すなわち、フルエンスが増すと速度が増すが、フルエンスを上げすぎると多数の割れが生じるため、圧力が十分に負荷されなくなり速度が減少する。

本加工法を破壊力学的に考察すると次のようになる。加工された穴径を d とすると、穴底の面積は d の2乗に比例するのに対し、穴の側面部分の面積は d に比例する。この穴の側面部分はクラックが進展することにより生じたせん断面であり、加工により新たに生成された面になる。一般に、材料の破壊は弾性変形と亀裂の生成、進展と言った過程から成る。このとき外部から与えられたエネルギー U の一部は弾性変形エネルギー U_E として貯えられ、さらに一部は亀

裂の生成により生じた新生面の表面エネルギー U_S として費やされる⁽¹²⁾。また、亀裂が発生し、これが進展するためには、塑性変形エネルギー U_P を考慮する必要がある、以上をまとめると次式のようなになる⁽¹³⁾。

$$\frac{dU}{dc} = \frac{d}{dc}(U_s + U_P - U_E) \leq 0 \quad (3)$$

ここで、 c は亀裂深さである。新生面の表面エネルギー U_S は変形に必要なエネルギー U に大きく関わっており、表面エネルギー U_S は新生面の面積に比例する。本加工法に当てはめると、加工穴径 d が大きくなれば新生面の面積が大きくなり、加工に必要なエネルギーも大きくなる。この変形エネルギー U は界面で生じる圧力上昇から与えられ、亀裂の進展の完了時の圧力と剥離された面積の積が、除去される高分子片に与えられる運動量になる。穴の面積は加工を引き起こす圧力がかかる大きさを表し、新生面の面積は加工に費やされるエネルギーを代表する量と考えられ、 d が増加すると穴面積の増加率は新生面の面積の増加率を上回るのでエネルギー的により加工しやすい状況になり、 d を大きくすると、加工のしきいフルエンス値は単に銅表面と高分子材の熱分解温度まで加熱するだけの値で良くなる(図9)。また一方、小さな d では全く逆にエネルギー的に加工が困難となり、レーザービーム径を小さくにとって、高いフルエンスで照射しても亀裂の発生前に剥離の方が進行してしまい、加工可能な d の値まで穴面積は広がってしまうと考えられる。さらに、

図9 加工しきいフルエンスのビーム径依存性

Fig. 9. The dependence of the threshold fluence on diameter of irradiated area.

図10 IR光1ショット加工の機構、(a)IR光の照射と導電層におけるIR光の反射、(b)界面における高分子の熱分解と急激な圧力の発生、(c)高分子層の弾性変形とクラックの発生、(d)クラックの進展と高分子薄膜の放出

Fig. 10. The mechanism of removal process by IR, (a) passing through a polymeric layer and reflecting at the interface of IR light, (b) thermal decomposition of polymer at the interface and production of pressurized gas, (c) deformation of polymeric layer and crack formation, and (d) crack growth and emission of polymeric film.

高フルエンス照射により高い圧力を発生させると、界面の剥離だけでなく、高分子材料の破壊応力をも越えてしまい、飛び出す高分子の破壊が引き起こされられると思われる。実際にフルエンスが非常に大きい場合には、高分子片が複数に割れ、その一部が飛び出さずにプリント基板に残ることがある。また、亀裂の成長が表面に達する前に中心部で破壊が起こり、急激な圧力低下を引き起こすこともある。従って、本加工法で加工を行うには飛び出した高分子が分裂しないような条件で行う必要があり、その意味で、照射のフルエンスには上限値が存在する。

5. まとめ

本加工法による穴あけ加工は、従来の CO₂ レーザや固体レーザの高調波である UV 光による 1 ショットずつ徐々に加工するアブレーション法と異なり、高分子に対してほぼ透明である Nd:YLF の基本波を用いて、プリント基板の高分子層にほとんど影響を及ぼさず高分子層/導電層界面で銅面を加熱し、その熱で高分子の熱分解を誘起し、瞬間的な圧力の上昇により照射領域近傍の高分子を薄膜のまま飛び出させることで加工を行うものである。本加工法ではレーザ照射条件(フルエンス、ビーム径)により加工される穴の形状や穴径をある程度制御できる。1 ショット穴あけ加工である本加工法の適用により、大幅なスループットの向上が期待でき、ショット数制御も不要となる。高分子を薄膜のまま除去するため、デブリが非常に少なく、基本波による加工であるため消費エネルギーの節約にも効果的であると考えられる。

(平成 14 年 5 月 24 日受付, 平成 14 年 9 月 24 日再受付)

文 献

- (1) 尾崎秀彦:「プリント基板レーザ加工の現状と動向」, レーザー学会学術講演会第 21 回年次大会講演予稿集, pp.106-107 (2001)
- (2) J. Bohandy, B. F. Kim, and E. J. Adrian: *J. Appl. Phys.*, Vol.60, No.4, pp.1538-1539 (1986)
- (3) *Proceedings of SPIE*, Vol.3933, pp.457~468 (2000)
- (4) 中村憲明・林 健一:「特願平 8-311258」
- (5) 若林直木・井手隆裕・青木 康・林 健一:「透明薄膜のレーザ微細除去加工」, 第 48 回応用物理学関係連合講演会講演予稿集, p.1125 (2001)
- (6) N. Wakabayashi, T. Ide, Y. Aoki, and K. Hayashi: "Novel Laser Process for Removing Polymeric Film by Solid-State Lasers", *CLEO Pacific Rim 2001 Technical Digest*, Vol.2, p.290 (2001)
- (7) 若林直木・井手隆裕・青木 康:「透明薄膜のレーザ微細除去加工 2」, 第 62 回応用物理学学会学術講演会講演予稿集, 856 (2001)
- (8) "Thermophysical Properties of Matter", *The TPRC Data Series*, (1970)
- (9) 社団法人電気学会・レーザアブレーションとその産業応用調査専門委員会 編:「レーザアブレーションとその応用」, (1999)
- (10) 社団法人日本機械学会編:「伝熱工学資料」, (1986)
- (11) J. H. Yoo, S. H. Jeong, R. Greif, and R. E. Russo: "Explosive change in crater properties during high power nanosecond laser ablation of silicon.", *J. Appl. Phys.*, Vol.88, No.3 pp.1638-1649 (2000)
- (12) A. A. Griffith: *Trans. Roy. Soc.*, Vol.221A, 163 (1921)
- (13) 日本材料科学会編:「破壊と材料」, (1989)

若 林 直 木

(非会員) 2000 年 3 月東北大学工学研究科博士課程前期修了。同年住友重機械工業(株)入社。主としてレーザ微細加工の研究に従事。現在、技術本部技術開発センターオプトロニクスグループ研究員。

井 手 隆 裕

(非会員) 1974 年九州大学大学院応用原子核工学科修了。同年住友重機械工業(株)入社。主として核融合炉燃料サイクルプロセス(水素同位体分離、貯蔵)の開発に従事。本社企画本部を経て現在、同社技術本部技術開発センター首席技師。

青 木 康

(非会員) 1987 年東京大学大学院工学系研究科修了。同年日本原子力研究所入所 1997 年住友重機械工業(株)入社。レーザ駆動 RF 電子銃と同電子銃応用装置の開発を経て、現在 同社、技術本部技術開発センターオプトロニクスグループ・グループリーダー。工博。

磯 圭 二

(非会員) 1979 年東京工業大学電子物理工学科卒。同年住友重機械工業(株)入社。主として制御システム関連に従事。現在レーザ事業センターレーザドリルグループリーダー。

林 健 一

(正員) 1973 年大阪大学工学部応用物理学修士課程修了。住友重機械工業(株)入社。1991 年より平塚研究所主任研究員。レーザの応用開発、特にガラスの内部マーキングの研究に従事。2001 年ニデック入社。現在、医療用レーザ装置の開発を行っている。応用物理学会およびレーザー学会会員。