

光加工技術を用いた本人認証

早崎 芳夫・西田 信夫

Personal Authentication by Use of Femtosecond Laser Processing

Yoshio HAYASAKI and Nobuo NISHIDA

Optical bit recording in a human fingernail is performed for new secure data transportation. A bit data is formed in a fingernail by irradiation of a focused femtosecond laser pulse. We have investigated the dependence of the irradiation pulse energy on the diameter and length of the formed bit. We found the fluorescence intensity from the formed bit is increased with a femtosecond laser fabrication. The fluorescence increasing is used for the readout of the bits.

Key words: three-dimensional optical memory, optical processing, information photonics, biometrics, optical security

情報通信技術の劇的な発展により、人と外界（高度情報通信社会）との間の情報の流れを、個人の能力や身体的特徴に無関係に橋渡しする技術、すなわち高齢者・障害者・子供・疾病者にとってバリアフリーなアクセシビリティの要求が高まっており、多様な技術を基盤にした開発がなされている。光は、情報キャリアーとして並列性、高速性、可視性、局在性、生体への安全性の特徴を有しており、その特徴を生かした情報フォトンクス¹⁾からのいくつかのアプローチも起こっている。現在、われわれは、各種カードや携帯端末等、いろいろな形態で情報を所持している。これらは、使用時に細かな操作を要求するため、高齢者や障害者にとってやさしいものではない。さらに、情報を所持している人が真の所有者であるとは限らず、情報の誤用・悪用があとを絶たない。筆者らは、情報のアクセシビリティやセキュリティーの向上を行う一方法として、手の爪を記録メディアとして情報所持を行うための研究を行っている²⁾。これは、体の表面や内部に直接的に情報の記録や表示を行う「生体メディア技術」の実現形態のひとつである。爪は、周辺部への熱的・化学的損傷の少ないフェムト秒レーザー加工技術³⁻⁵⁾を用いて、三次元多層光記録⁶⁾を施される。爪は、高い機械強度を有し、透明で光散乱が少ないため、生体材料の中でも光記録媒体としてすぐれており、さらに新陳代謝とともに記録が消失するため、自分の体に

情報を記録することへの抵抗感が少ないと予想される。

1. 実験方法

光加工システムは、再生増幅型チタンサファイアレーザーとピエゾステージ付き倒立型光学顕微鏡とで構成される(図1)。出射された中心波長 800 nm、パルス幅 < 100 fs のレーザーパルスは、ND (neutral density) フィルターにより光強度を調節され、40 倍対物レンズ (Olympus, NA 0.55) によりサンプルに集光される。サンプルでのパルスエネルギーは、パルスを顕微鏡に導入する直前で測定されたエネルギーと前もって測定された顕微鏡の透過率の積である。サンプルでの反射、散乱、吸収のロス、照射エネルギーには含まない。光記録実験では、指先から切り離れた爪の薄片を接着剤でカバーガラスに固定したサンプルを使用する。爪の表面は、記録深さに対して記録に必要なエネルギーの変化を少なくするために、研磨紙で磨いておく。記録深さは、サンプル表面に焦点を合わせ、そこからサンプルを上下動させることにより調整される。実際の記録深さは、爪の屈折率を考慮して算出される。ビットの記録は、単一のパルス照射により行われる。爪に記録された情報を光学的に読み出す場合、実際の応用を考えると、反射型光学系による再生が必要となる。筆者らは、爪内部にビットを形成すると、蛍光強度が爪の自家蛍光よりも局所的に増強される現象を発見した。この蛍光発光の局所的な

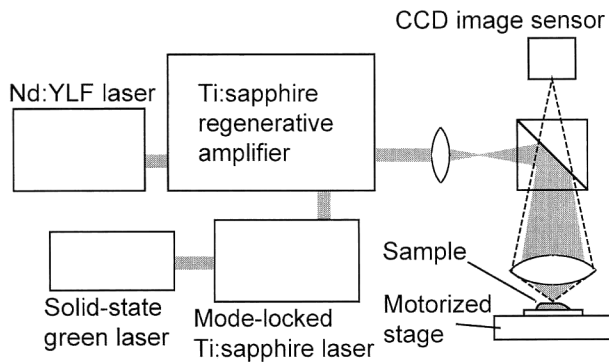


図1 光加工システム。

増大現象を利用して、ビットの再生を行う。

2. 爪内部への記録

図2は、爪サンプル内幾何光学的深さ $142\ \mu\text{m}$ に照射エネルギーを変えてレーザーパルスを照射し、記録したビットの横からの顕微鏡観測像である。写真上部の境界線は爪の表面である。照射エネルギーは、左から2つずつ、 0.24 、 0.97 、 1.9 、 $3.9\ \mu\text{J}$ である。照射エネルギー $0.12\ \mu\text{J}$ の場合、ビット形成は観測されたが、 $0.063\ \mu\text{J}$ の場合、パルス照射位置に観察可能な変化はなかった。ビットの長さとは径は、パルス照射エネルギーの増加に伴って増加している。照射エネルギーの増加に伴う特徴的な構造の変化として、加工先端の位置の変化は小さく、後方に伸長している。これはおもに、自己集束効果によるパルス内での焦点の移動と、自己捕捉効果によるフィラメンテーション形成によって起こると考えられる。

図3 (a) は、照射エネルギーに対するビット径である。ビット径は、ビットの横からの観察像の強度プロファイルにおける背景光強度未満の領域の幅である。ビット径 D が、入射エネルギー E の増大に伴って、内部爆発により急激に増大している。グラフ中の曲線は、ガウスビームを仮定したときの、閾値エネルギーを超える強度を有する領域の直径である。測定された結果は、そのガウスビームによる評価に一致しなかった。破線は、パルスエネルギーの対数に対する回帰直線、すなわち $D = k \log(E)$ である。係数 k は 2.23 である。ガラスへの加工の実験結果から同様に係数を求めると、 $k = 0.4$ であった。これは、爪はガラスよりも柔らかいため、ビット径の増大が顕著に起こるためであると考えられる。図3 (b) は、照射エネルギーに対するビット長である。曲線は、同様にガウスビームを仮定したときの、閾値強度を超えた強度を有する領域の長さである。計測結果は、その評価とおおよそ一致しており、ビット径と比べて内部爆発の影響は小さいと考えられる。入射エネルギーの増大によるビット長の増大は、図2に示され



図2 爪に記録されたビットの横からの顕微鏡像。写真の縦と横の長さは、 $200\ \mu\text{m}$ と $100\ \mu\text{m}$ である。

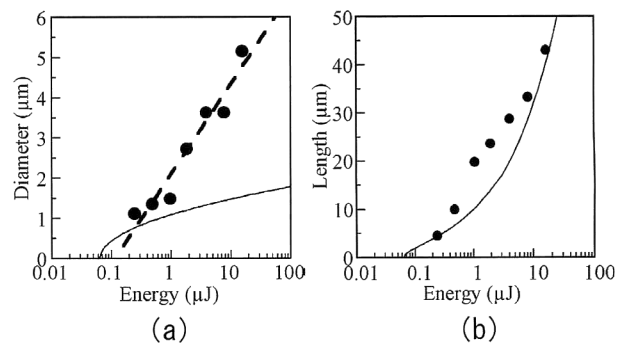


図3 照射エネルギーに対する (a) ビット径と、(b) ビット長。

る加工形状から推測されるように自己集束効果や自己捕捉効果に強く関係しており、非線形光学効果を含めた、さらなる解析が必要である。

3. ビットの蛍光再生

図4 (a), (b), (c) は、フェムト秒レーザー加工技術によって、爪内部深さ 60 、 91 、 $121\ \mu\text{m}$ に記録された3層のビットプレーンを透過照明顕微鏡によって観測した結果である。パルスエネルギー $0.24\ \mu\text{J}$ 、ビット間隔 $5\ \mu\text{m}$ で記録されている。これらの条件での三次元光記録の密度は、 $2\ \text{Gb}/\text{cm}^3$ と算出される。パルスエネルギー $0.12\ \mu\text{J}$ の場合のビット径 $1.1\ \mu\text{m}$ 、ビット長 $4.6\ \mu\text{m}$ の倍の間隔で三次元的にビットを記録したとすると、その記録密度は $22.5\ \text{Gb}/\text{cm}^3$ に達する。筆者らは、爪内部にフェムト秒レーザー加工した場所において、局所的に爪の自家蛍光より蛍光が増大する現象を発見した。紫外光励起よりも青色光励起のほうが、

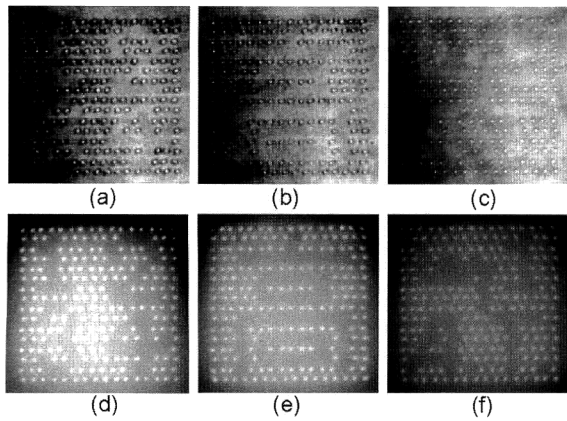


図4 爪に記録された3層のビットの透過明視野像と蛍光像。

記録前後での高いコントラストが得られた。図4(d), (e), (f)は、蛍光増大現象を利用して、各ビットプレーンを再生した結果である。各ビットプレーンが、分離されて再生されている。これらは、2003年8月6日に記録、8月7日に再生した結果である。図5は、記録後173日、2004年1月26日の再生像を示す。記録直後と同様な再生像が得られており、記録後6か月間にわたって(爪母から爪先まで伸びるのにかかる時間)情報を再生できることが実証された。

筆者らは、フェムト秒レーザーを用いて爪内部への三次元光記録を実現し、照射エネルギーに対するビット径とビット長から、三次元光記録密度を見積もった。ビットを記録した部位からの蛍光が、自家蛍光に比べて増大する現象を発見し、その現象を利用したビットの再生に成功した。筆者らは、爪内部にビットを記録する方式に加えて、爪表面にビットを記録する方式の研究も行っている。爪表面にビットを記録した場合、蛍光強度の局所的増強は観測できなかったが、通常の反射照明観察を用いて高いコントラストのビット観察が可能であることを明らかにしている。また、表面に記録したビットの外部からのダメージを避けるための透明なマニキュアを塗布した後も、反射照明観察でそのビットを再生できることを実証している。

最後に、応用について述べる。まず、バイオメトリクスとの協調によるマルチモーダルな本人認証が考えられる。指紋や指の血管パターンによるバイオメトリクス本人認証は、爪に記録した情報と同時計測ができる。そこで、爪に人工的な情報を加えることによって、本人拒否率や他人受け入れ率を低下し、本人認証の性能向上をはかることがで

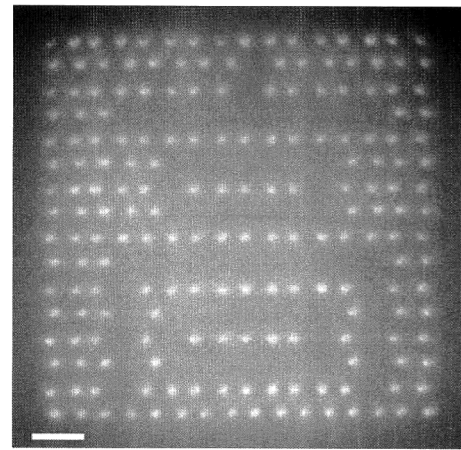


図5 記録後173日の蛍光再生像。バーの長さは10 μm 。

きる。施設やイベント会場では、前もって配布してある紙やプラスチックのカードを使って入退出管理を行っている場合が多い。爪に視認できる程度の大きさのパターンを描けば、人による入退出チェックも可能となり、偽造や人の入れ替わりを防ぐことができる。さらに、障害者や疾病者の情報伝達手段として使えるかもしれない。例えば、ボタン操作など細かな操作ができない人、手術中の人、痴呆症の人のために、操作方法、身体的特徴、趣味嗜好などの必要な情報を前もって記録表示しておけば、情報伝達のミスを抑えることができる。

本研究は、徳島大学サテライトベンチャービジネスラボラトリー、通信・放送機構「創造的情報通信技術研究開発推進制度」、財団法人マツダ財団の援助によって行われた。

文 献

- 1) 早崎芳夫：“情報フォトニクス：その概念とめざすもの”，光学，**32** (2003) 410-415.
- 2) A. Takita, M. Watanabe, H. Yamamoto, S. Matsuo, H. Misawa, Y. Hayasaki and N. Nishida: “Optical bit recording in a human fingernail,” Jpn. J. Appl. Phys., **43** (2004) 168-171.
- 3) 藤田雅之, 橋田昌樹：“フェムト秒レーザーの応用”，応用物理，**73** (2004) 178-185.
- 4) 特集“レーザーアブレーションと物質プロセッシング”，光学，**31** (2002) 605-635.
- 5) 特集“フェムト秒レーザーによる無機材料の微細加工”，レーザー研究，**30** (2002) 220-254.
- 6) 田中拓男：“三次元多層光記録メモリー”，光学，**32** (2003) 526-530.

(2004年3月11日受理)