

ダイヤモンドの高アスペクト比レーザ切断

千葉大学 ○青柳良 千葉大学 ◎比田井洋史 松坂壮太 千葉明 森田昇

要旨

ダイヤモンドは難加工材料で、従来の切断法では切り代が多い。そこで本研究では、Nd:YVO₄ レーザの第四高調波を用いたダイヤモンドの高アスペクト比切断を目的とする。焦点位置、焦点距離を変えて切断を行った後に、光学顕微鏡により溝形状を観察した。そして集光条件による溝形状の違いについて明らかにし、断面のテーパを小さくすることでアスペクト比 50 以上を実現した。

1. 緒言

近年、高温高压合成法や化学気相蒸着法¹⁾などによって合成ダイヤモンドの製造が可能になり、ダイヤモンドの光学的、機械的な特性に加えて熱的、電気的な特性に注目した機能材料としてもより広い応用の可能性が開けてきた²⁾。しかし、従来のレーザ切断では切り代となる部分が多い。ここで切断溝幅が小さい溝をレーザ形成するためには、集光した際のスポット径が小さい必要がある。長波長よりも短波長の光源の方がスポット径を小さくできる。この特徴を利用し比田井らはこれまでにNd:YVO₄ レーザの第四高調波を用い、ホウ珪酸ガラスに対し、直径 10 μ m 程度、深さ 2mm 以上の小径深穴加工を実現している³⁾。本研究では、Nd:YVO₄ レーザの第四高調波を用いたダイヤモンドの高アスペクト比切断を目的とする。

2. 集光条件がダイヤモンド切断に及ぼす影響

2.1 実験方法

実験装置の概略図を図 1 に示す。レーザ発振器から出るビームをレンズで集光し、ステージ上の実験試料に照射する。試料は X-Y ステージにより、レンズは Z ステージにより移動させる。また、ソフトウェアにより PC から X-Y 方向の移動量、X-Y ステージの動作速度、Z ステージ方向の移動量を設定する。レーザでの加工には、光源として Nd:YVO₄ レーザ(Photonics Industries, DS20H-266)の第四高調波を用いた。実験条件を表 1 に示す。試料は厚さ 1.1mm の高温高压ダイヤモンドを用い、レーザを(111)面から照射し、走査した。実験には焦点距離 20mm, 30mm, 50mm, 100mm の計 4 種類のレンズを用いた。また、焦点の試料内部へのデフォーカス距離が、試料表面を基準として 0 μ m, 300 μ m, 600 μ m, 900 μ m, 1200 μ m, 1500 μ m, 1800 μ m の場合で比較を行った。

2.2 結果

加工後の試料を超音波洗浄し、光学顕微鏡で観察した結果を図 2 に示す。(a)は 20mm, (b)は 30mm, (c)は 50mm, (d)は 100mm の焦点距離のレンズで加工した結果である。(1)は 0 μ m, (2)は 300 μ m, (3)は 600 μ m, (4)は 900 μ m, (5)は 1200 μ m, (6)は 1500 μ m, (7)は 1800 μ m の焦点位置で加工した結果である。焦点位置と試料表面での溝幅の関係を図 3, 焦点位置と溝深さの関係を図 4 に示す。図 2 (a)の(1)に示すように焦点距離 20mm のレンズを使用し表面に焦点位置を合わせた場合、試料表面での溝幅が 20 μ m であり、溝深さは、試料厚さの 1.1mm に達した。アスペクト比 50 以上の切断が可能であった。また図 3 より焦点距離 20mm, 30mm のレンズを使用した場合では、焦点位置を試料内部方向へ変化させるに従い、試料表面での溝幅が大きくなる傾向が見られた。焦点距離 20mm の場合、焦点位置を 300 μ m より下げると徐々に溝幅が大きくなり、焦点距離 30mm の場合、焦点位置を 900 μ m より下げると徐々に溝幅が大きくなる。

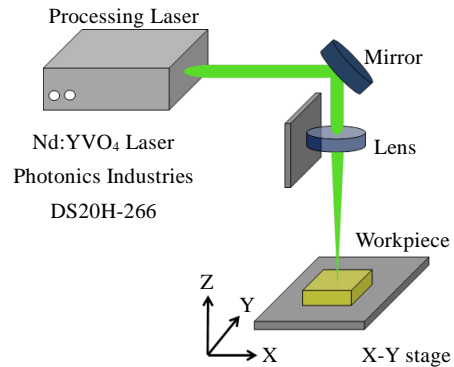


Fig. 1 Schematic drawing experimental

Table 1 Experimental conditions

Wavelength [nm]	266
Power [W]	1.6
Repetition rate [kHz]	10
Pulse width [ns]	8
Focal length [mm]	20,30,50,100
Beam diameter [μ m]	700
Scan rate [μ m/s]	100
Scan times	10

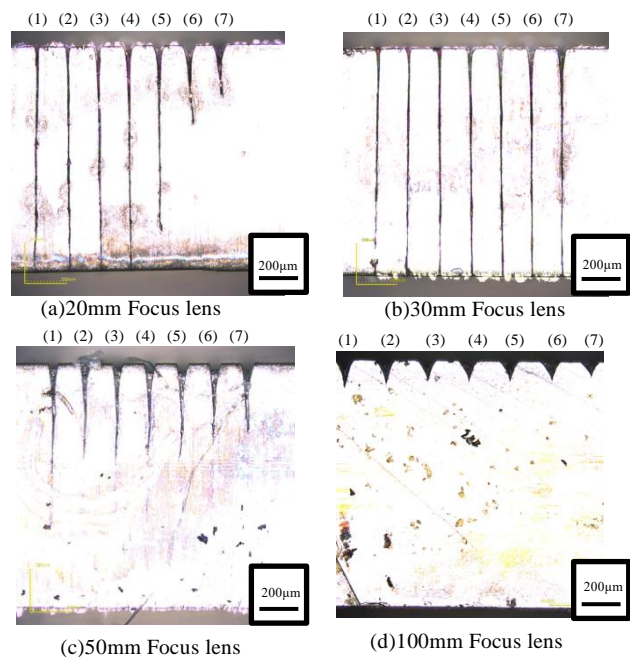


Fig. 2 Optical microscope images of HPHT diamond

この傾向は焦点距離 50mm,100mm のレンズを使用した場合には見られなかった。

2.3 スポット径とレイリー長さの計算

ここで考察のために、スポット径とレイリー長さを計算により求める。図 5 のようにガウス分布を有する直径 D 、波長 λ のレーザを焦点距離 f のレンズで集光する場合、焦点位置におけるスポット径 d_0 は(1)式、レイリー長さは(2)式、焦点位置から Z 離れた位置におけるビーム径 d は(3)式から求められる。

$$d_0 = \frac{4f\lambda}{\pi D} \quad (1)$$

$$Z_R = \frac{4\lambda}{\pi} \left(\frac{f}{D}\right)^2 \quad (2)$$

$$d = d_0 \sqrt{1 + \left(\frac{Z}{Z_R}\right)^2} \quad (3)$$

本実験において用いた焦点距離それぞれの焦点位置におけるスポット径 d_0 、レイリー長さ Z_R を求めた結果を表 2 に示す。

2.4 考察

試料表面での加工溝幅は、試料表面におけるレーザのビーム径に依存し、デフォーカス距離がレイリー長を超えた場合は、試料表面での加工溝幅が拡大すると考えられる。溝幅を小さくするには、試料の表面でのビーム径をできる限り絞ればよい。焦点距離 50mm の焦点位置が 900 μm の時、試料表面のビーム径が 26.3 μm に対し焦点距離 20mm の焦点位置が 900 μm の時の試料表面のビーム径は、31.6 μm である。焦点距離 50mm の溝深さが 550 μm に対し、20mm は 1100 μm である。このことから深溝の形成に表面のビームフルエンスだけでは説明できない。これは試料の内部にいくにつれて 20mm の方がフルエンスが高くなっていくからである。実際 20mm の焦点位置を試料の上側にし、表面でのビーム径が 50mm と同じになるようにしたところ、溝の深さに違いは見られなかった。このことから焦点位置が試料の外部という条件よりも試料の内部にあることが深溝の形成に重要である可能性がある。

3. 結言

本章では、Nd:YVO₄ レーザの第四高調波を用いて厚さ 1.1mm の高温高压ダイヤモンドの高アスペクト比加工を試みた。本章の結言を以下に述べる。

- (1) 薄い試料の高アスペクト比加工には、短焦点のレンズの焦点位置を表面にあわせて走査を行うことが好ましい。本実験ではアスペクト比 50 以上を達成した。
- (2) 試料表面のビームフルエンスが同じでも、焦点位置が内部にある条件の方が深溝を形成することが可能である。

4. 参考文献

- (1) 山田英明, プラズマ CVD による単結晶ダイヤモンド合成の現状と課題, J.Plasm Fusion Res, Vol.90, No2, (2014), 152-158
- (2) 佐藤純一, 工業用ダイヤモンド利用技術の現状と将来, ISIJ, (1987), 1471-1478
- (3) 比田井洋史, 伊藤翔, 戸倉和, 長澤正道, 立川茂, UV レーザによる高アスペクト比小径穴あけ加工(第 1 報)-ホウ珪酸ガラスへのアスペクト比 190 の穴あけ-, 精密工学会誌, (2010), 1161-1165

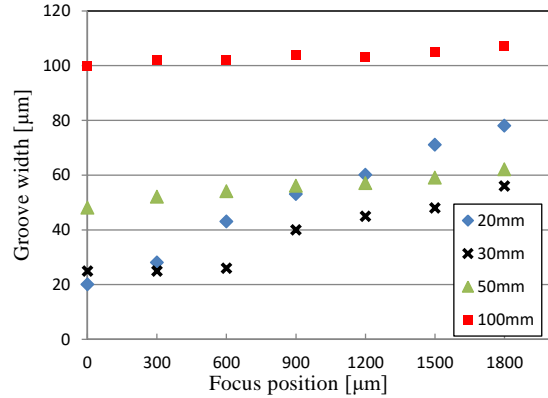


Fig. 3 Relationship between focus position and groove width

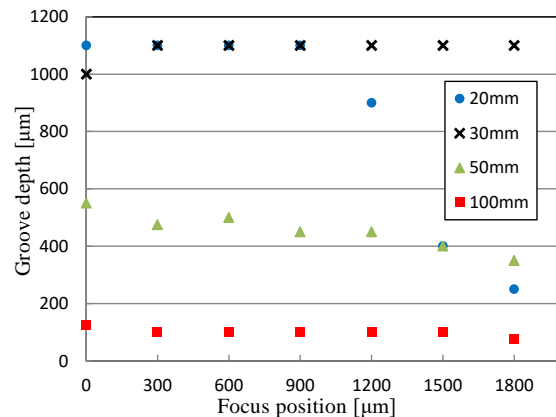


Fig. 4 Relationship between focus position and groove depth

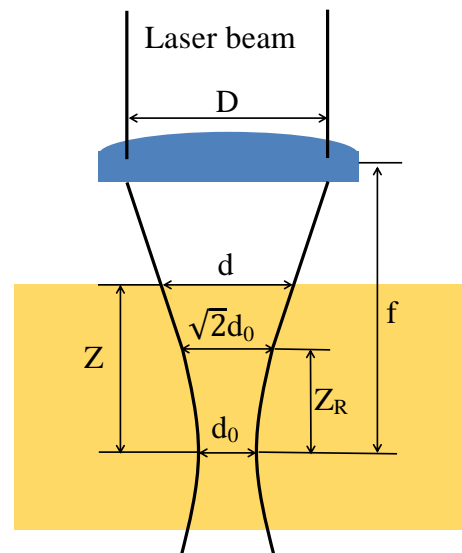


Fig. 5 Schematic of a ray model of the beam

Table 2 Optical concentration condition

Focal length[mm]	20	30	50	100
Spot diameter[μm]	9.3	14.0	23.3	46.6
Rayleigh length[μm]	276	622	1728	6912