

ステルスレーザーの熱影響

技術開発本部 レーザ技術部、営業技術部

Thermal effect of stealth laser dicing

Engineering R&D Division Laser R&D Department, Sales Engineering Department

要旨

ステルスダイシング (SD) 装置は、ドライプロセス、狭カーフ幅、チップングレスなどの特徴があり、LED チップや MEMS などの切断に採用されている。被加工材料に透明性の高いレーザービームを照射する SD 加工法は、集光点でレーザーを完全には吸収できないために、加工時のデバイス面への熱影響に高い関心が集まっている。本レポートは、Si にて SD 加工時の焦点近傍の吸収特性及び熱影響シミュレーションについて報告する。

Abstract

Stealth dicing (SD) equipment has features such as dry processing, a narrow kerf width, and no chipping. Thus, SD processing is employed for cutting LED chips and MEMS. The SD processing method, which irradiates a high transparency laser beam on the workpiece, is not able to fully absorb the laser using a focus point. As a result, the thermal effect on the dice has been attracting interest. This report presents the absorption features near the focus point when performing SD processing on silicon and simulates the thermal effect on the device surface.

1. はじめに

ステルスダイシング (SD) は、透過性のパルスレーザー光を加工物内部に集光し、焦点近傍のみで顕著な非線形吸収を起こし、その結果生じた局所的な高温領域が改質層と呼ばれる高転移密度層を形成すると同時に、上下に亀裂を生じさせる第 1 段階と^[1]、さらに、外力を加えて亀裂を表面に進展させる第 2 段階からなる、被加工物を分断する技術である。

SD は、従来のブレードダイシングに比べ、チップングレス、狭カーフ幅、完全ドライプロセスなどの特徴があり、近年、様々な半導体デバイスウェーハの切断方法として注目されている。

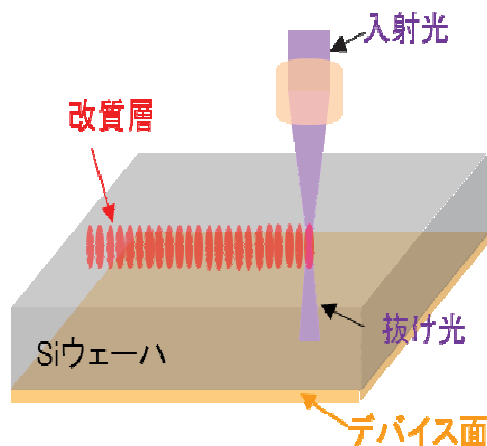


Fig. 1 SD 裏面入射の概念図

SD プロセスでは、透過性の高いレーザービームを用いるため、照射したレーザー光の全てが集光点で吸収しきれずに、一部がそのまま底

面に抜けてしまう問題がある。図1は、SDBG (Stealth Dicing Before Grinding)プロセスに必要な裏面入射プロセスの概念図である。デバイスが集積された面の反対側からレーザー光が入射されるので、焦点近傍の発熱の影響以外に、抜け光によるデバイスへの熱影響も考慮する必要がある。

SDプロセスにおける光吸収、熱拡散は、数 μs 以下の短時間内に、数十 μm 程度の小さな領域で起こる現象であり、実験的に過渡的な温度分布を測定することは極めて困難である。しかし、近年、非線形吸収の理論に基づきレーザー波長の吸収係数の温度依存性について多くの研究がなされ、レーザー光の吸収・発熱と熱拡散を考慮した熱伝導解析モデルを用い、シミュレーションによるSDプロセスのメカニズム解明^{[1][2]}が進んでいる。

ディスクでは、上記の手法を参考にして、Si、Sapphire、SiCなど各種材料のSDプロセスの物理モデルを検討し、集光点での温度上昇に加え、抜け光によるデバイスへの熱影響を評価している。本レポートは、Siのシミュレーション結果について紹介する。

2. レーザ吸収・熱解析モデルの概要

SDプロセスの物理モデルでは、単結晶Si内において、レーザー光がガウシアンビームとして伝搬し、焦点付近で非線形吸収が起きる。抜け光は底面に置かれた金属層(Cu膜)に吸収されると仮定する。なお、レンズによる収差や光吸収以外のエネルギー損失(散乱など)がない場合を想定する。

光軸を z 軸とし、Si内動径方向に r 軸をとった円柱型座標系を考える。図2のように、単結晶Siをたくさんの微小体積要素に分割し、有限差分法を用いて、単位時間 t あたり、

体積要素毎の光吸収量及び周囲からの熱拡散量を計算し、パルス光照射の時間経過に沿ってSi内部及び底面Cu層の温度変化を計算する。

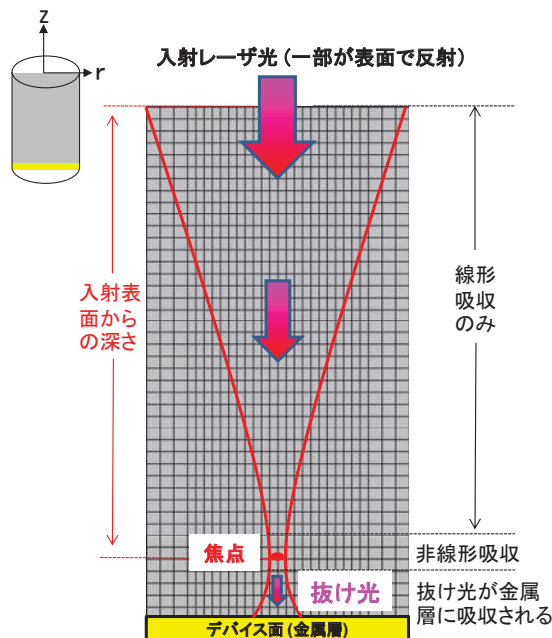


Fig.2 SDの物理モデル

光吸収量及び熱拡散量は主に下記の式に基づき計算される。

レーザー光のパルス波形(エネルギーの時間分布)は下記の式で記述することができる。

$$I(t) = I_0 \left(\frac{t}{2\pi^3 \sqrt{\ln 2}} \right)^{1/2} \exp \left(- \frac{(t - t_p)^2 \ln 2}{\left(\frac{t}{\theta} \right)^2} \right) \quad (\text{式 1})$$

ここで、 $I(t)$ は時刻 t におけるレーザー光の強度、 I_0 がピーク強度、 t_p がパルス幅、 θ が波形調整係数である。

また、単結晶Si内にある位置 (r, z) におけるレーザー光の強度分布 $D(r, z)$ は、ガウシアンビーム伝播式に従って、下記のように計算される。

$$D(r, z) = \frac{2}{\pi R(z)^2} \exp \left(- \frac{2r^2}{R(z)^2} \right) \quad (\text{式 2})$$

$$R(z) = R_0 \sqrt{1 + \left(\frac{\lambda}{\pi R_0^2}\right)^2 (z - z_0)^2} \quad (式 3)$$

z_0 は焦点位置。 $R(z)$ と R_0 はそれぞれ z 、 z_0 におけるレーザ光径である。

(式 1)、(式 2) と Lambert-Beer 法則に従って、時刻 t における位置 (r, z) での光吸収量は

$$Q(r, z, t) = A(r, z) I(t) D(r, z) (1 - \exp(-\alpha(r, z, t) \times dz)) \quad (式 4)$$

となる。ここで、 $\alpha(r, z, t)$ は光吸収係数、 $A(r, z)$ はエネルギー保存則を満たすための係数である。

時刻 t における体積要素の温度 T は、下記の熱伝導式を解くことによって算出される。

$$\rho C \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r K \frac{\partial T}{\partial r} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(K \frac{\partial T}{\partial z} \right) + Q(r, z, t) \quad (式 5)$$

ρ は密度、 C は比熱、 K は熱伝導率である。

3. 解析例の紹介

Si の厚みは 750 μm で、表 1 での加工条件にて Si 面入射、被加工物内部及び底面 Cu 層の熱解析のシミュレーションを行った。

エンジン	パルスエネルギー	焦点位置 (表面からの深さ)
SDE06	21.1 μJ	700 μm

Table 1 SD 加工条件

図 3a) は 1 パルスの入射開始から完了までの波形を示す。図 3b) から分かるように、入射の初期段階(①②)では、焦点近傍での温度上昇が十分でないため、顕著な非線形吸収は

起きず、入射光のほとんどは底面に抜けてしまう。その結果、底面 Cu 層は抜け光を吸収して、温度が急上昇する。照射時間の経過とともに、タイミング③から、抜け光がいきなり減少する。これは、焦点付近の温度上昇により、吸収係数が十分に高くなり、吸収と発熱が急激に増加し、温度が急上昇する(非線形吸収)フェーズに移行して、レーザ光が殆ど吸収されるためである。その結果、Si 内部に、SD 改質層が形成される。逆に、底面 Cu 層では、抜け光による発熱がほとんどなくなるので、熱拡散により温度は徐々に低下する。照射終了直後(⑥)、焦点周辺及び底面に熱が残るが、次のパルスが来るまで、温度はほぼ室温に戻り、熱蓄積の影響は軽微と予測される。

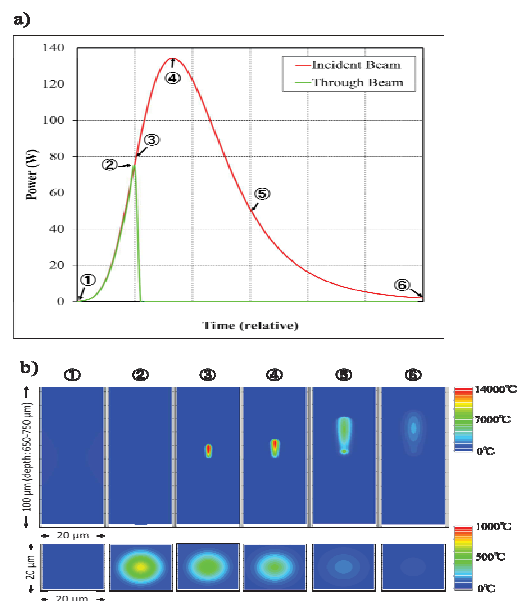


Fig. 3a) 入射光と抜け光の波形 b) 加工物内部焦点付近及び底面中心温度の経時変化

図 4 は、底面 Cu 層の最大温度の動径方向分布を示したものである。抜け光の中心(焦点直下位置)を原点とする。中心位置にお

る最大温度は約 700 °C 以上と比較的高温になるが、中心から離れれば温度は急激に降下し、10 μm 離れたところ(ストリート幅 20 μm を想定)の温度はおよそ 60 °C、15 μm 離れば、温度はわずか 40 °C である。すなわち、狭ストリート(20 μm 以下)でなければ、抜け光によるデバイスへの熱影響は殆どないと考えて良い。

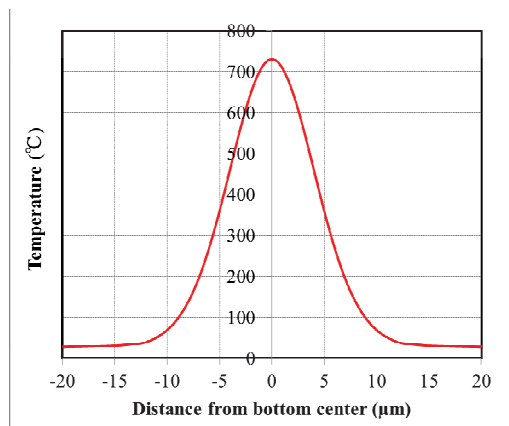


Fig. 4 底面 Cu 層最大温度の動径分布

図 5 に示すように、焦点位置(入射表面からの深さ、図 2 参照)が 700 μm から、680 μm 、570 μm と浅くなっていくにつれ、底面中心の温度が急激に減少する。例えば、焦点位置が 700 μm から 680 μm へ、20 μm 浅くしただけで、底面中心温度が約半減する。一方、中心から

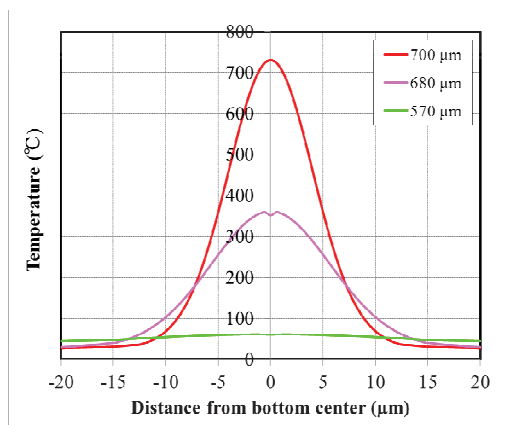


Fig. 5 異なる焦点位置における底面温度の動径分布

離れた位置では、焦点位置が浅くなるにつれて、逆に温度が少し高くなっていく傾向がある。それは、底面に到達する抜け光の総エネルギーは焦点位置にあまり依存しないが、エネルギー密度の動径分布が、焦点位置が浅くなっていくほどブロードになり、結局、中心から離れた場所に入る光エネルギーが増加して、温度が高くなることを意味する。

底面中心の温度を抑えるには、焦点位置を浅くするのが有効だが、中心から離れた場所の温度はわずかではあるが、逆に上昇するリスクを伴う。

4. おわりに

被加工材料に透過性の高いレーザ光を用いる SD プロセスでは、焦点直下位置を中心に抜け光が発生している。シミュレーションの結果では、底面から 50 μm 上方に焦点を設定する場合、底面(Cu 層)の焦点直下で最大温度が 700 °C 以上になるが、中心から 10 μm 離れたところではおよそ 60 °C、15 μm 離れば 40 °C と低く抑えられると予測される。一般的にストリート幅が 20 μm 以上であれば、デバイス面への温度影響は無いと考えられる。

また、焦点の位置が底面から上に離れると、抜け光の発熱影響が激減されることが明確になった。

ディスコは、より信頼性の高い SD プロセスの確立を目指して、テストカットにて顧客の製品に最適な出力パワーと入射焦点などの加工条件選定を行っている。

参考文献

[1] K. Fukumitsu, et al., Online Proc.4th Int. Cong. Laser Adv. Mat. Proc., 2006.

[2] E. Ohmura . “HeatTransfer - Engineering Applications”, Vyacheslav Vikhrenko (Ed.), InTech, 20