

パルスレーザ集光により生ずるサファイヤ結晶欠陥の性状と加工効率

[研究代表者] 岩田博之 (総合技術研究所, 工学部電気学科)

[共同研究者] 河口大祐 (浜松ホトニクス, 名古屋大未来材料・システム研)

[共同研究者] 坂 公恭 (総合技術研究所)

研究成果の概要

透過性パルスレーザを用いたステルスダイシング (SD) 法によって形成される Si ウェハとサファイヤウェハの内部損傷を電子顕微鏡で解析した。Si ではレーザ誘起損傷領域は焦点部を先頭としてレーザ入射方向に伸びた円柱状領域内に、ポイド、転位集合域、クラックからなる。レーザ照射後にウェハ表面に引張応力が加わるように曲げモーメントを加え切断する際、ポイドが切断に導く亀裂の起点となると考えられたが透過電子顕微鏡観察から、グライドセット転位の集合体がクラック起点となっている。ポイドの多くはその周辺に結晶欠陥や歪をほとんど伴わず、クラックはむしろポイド近傍を避けて形成することがわかった。これらの特徴は Si 特有であることがわかり、たとえばサファイヤでは形成する損傷はポイドを中心とする同芯球領域に存在し、クラックはポイドを直接つなぐように形成することがわかった。Si と比べ硬度の高いサファイヤの切断は加工品質(端面平坦度)が優れていることがわかり、同等の加工品質を得るための加工効率は Si と遜色がなかった。加工品質の高さは、複数のポイドをクラックが最短距離でつなぎあわせていることに起因していることがわかった。

研究分野: 透過型電子顕微鏡, レーザプロセッシング

キーワード: TEM, STEM, ステルスダイシング, ポイド, サファイヤ, 転位

1. 研究開始当初の背景

透過性のパルスレーザを用いた半導体ウェハの切断法であるステルスダイシング (SD) 法は、ウェハ内部にレーザを集光させるため、ウェハ表層部に損傷を与えることなしに、ウェハ内部のみに損傷を誘起させる。そのため、ドライかつキリシロなし無塵などの特徴があり各種半導体を主体に普及が進んでいる。

その損傷層は応力集中点であり、レーザを水平方向にスキャンすることによりウェハ内部に何らかの応力集中点の列が形成される。その後、レーザ走査線と垂直な方向に引張応力を加えることにより、応力集中点を起点として亀裂がウェハ表裏に進展し、ウェハを高速かつ高精度に切断することができる。

Si の場合、亀裂の起点となる応力集中部の損傷組織は、焦点部を先頭としてレーザ入射方向に伸びた円錐領域内に、ポイド、Si の高圧相、グライドセット転位、微少亀裂とこれらを縦に貫くチムニー状の組織からなることが知られている。しかしながら破断に至る動的メ

カニズムの詳細は不明である。一方、SD 法は Si のほか石英ガラス、SiC、Ge、GaN、サファイヤ、LiTaO₃ 等多種ウェハに応用が広がっている。それらの効果を比較する中で加工効率と加工品質に顕著な違いが見いだされ、基板種の差異とともにレーザ損傷の性状と加工効率の関係性を考察する必要性が生じている。

2. 研究の目的

ここでは Si とサファイヤを比較しながら、それぞれの損傷の性状を明らかにする。それら損傷が割断に至る様子を明らかにする。

サファイヤは Si より硬度が高く難加工材料として知られる。SD 法の実加工においては厚さ等の条件にもよるが、Si と同等の加工品質を得るためのサファイヤ割断に必要な深さ方向の照射本数は 1/4 程度に減らすことができる。結果として Si とサファイヤで同等のせん断加工効率が得られることがわかった。そこで、Si とサファイヤそれぞれの損傷と加工効率の関係性を透過

電子顕微鏡法から解明を目指した。

3. 実験方法

Si に対して用いたレーザ波長は近赤外域 1342nm, パルス幅 90ns, エネルギー 3.3 μ J, 厚さ 0.6mm の Si (001) ウェハの上部から<100>方向に照射した。サファイヤに対してはレーザ波長 532nm, パルス幅 300ps, エネルギー 1 μ J, 厚さ 0.1mm のウェハに照射した。

透過型電子顕微鏡 (TEM) で観察するため, それぞれの試料を, 2.8mm x ウェハ厚 x 幅 100 μ m の短冊状に再度 SD 法で切り出した。切り出した短冊状試料を Ar イオンビームでミリングし薄膜化し単孔メッシュにエポキシ樹脂で固定する。最初のレーザ損傷層はこの 1 μ m を超える極厚の薄膜内に収まるようにレーザ照射方向が膜面に平行となるよう TEM サンプルを作製した。愛知工業大学総合技術研究所に配置の JEM-2100Plus を用いて, 高い電子線透過力を持つ明視野走査透過モード (BF-STEM) で平行ビームを維持しながら最低倍率で微細構造を調べた。

4. 研究成果

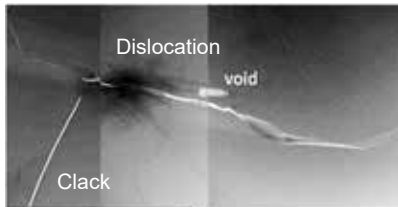


図 1 Si 内損傷, 左が入射面, ボイド近傍にクラックが伝搬, ボイドの右側の黒部が転位集合域から複数のクラックにつながる,

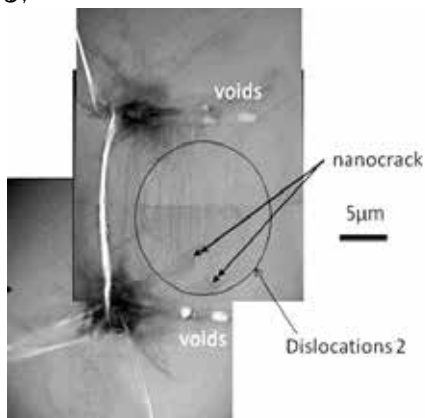


図 2 複数の照射痕の間をつなぐクラックが発生

図 1 は Si 試料のレーザ照射痕である。焦点位置にボイ

ドが存在する。転位集合体領域はボイドと離れ存在していた。これは Si の熱吸収率が高温下で急上昇すること起因する Si 特有の現象とされる。また, ボイドが割断に導くクラックの起点とはなっておらず, 転位集合域であるテール部は激しく塑性変形しており多数の転位が導入されている。テール部での塑性変形に伴い発生したクラックが割断を導く起点となっている。また, 図 2 のように隣接の転位集中部をつなぐようにクラックが存在することを確認した。一方ボイドの近傍ではボイドを避けるようにクラックが存在する様子が観察された。

図 3 は, サファイヤに現れたレーザ痕である。集光点には球形のボイドが単独で存在する。そのボイドからクラックと転位が放射状に形成していることがわかる。なお, ボイド周辺の転位群は, 1150°C 加熱後に安定したセル構造を形成した。このことから強い力が加わっていたボイドはクラックの発生源となっていることがわかった。サファイヤ内のボイド近傍をスライスした試料を

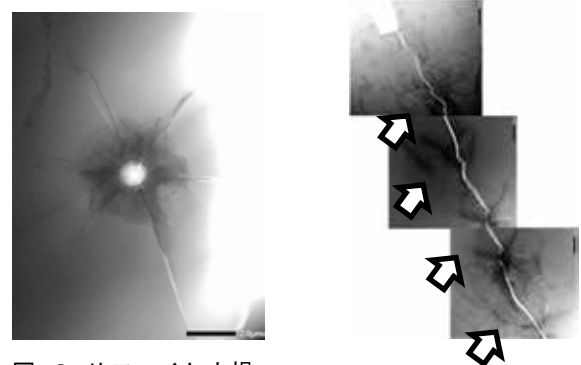


図 3 サファイヤ内損傷, 左図はボイド, クラックはボイドを起点

図 4 複数のボイドの近傍の様子, クラックはボイド間をつなぐように伝搬, 矢印は照射痕近傍。

TEM 観察したところ, ボイドをつなぐクラックと転位群が確認できた (図 4)。

一方, 割断面の表面性状を走査型電子顕微鏡で観察し, その破断面の凹凸との比較からボイドサイズの均一性, クラックサイズやボイドのアスペクト比, 配置が破断面の凹凸に影響を与え, 加工品質が高くなることがわかった。

したがって, サファイヤでは複数のボイド間を最短距離でクラックが繋がることが, 加工品質として加工効率の高さを生み出す要因になっていることがわかった。