

SiC ウェハ内部のパルスレーザー照射痕の観察 Trial study of SiC dicing induced by laser

岩田 博之[†], 河口 大祐^{††}, 坂 公恭[†]
Hiroyuki Iwata[†], Daisuke Kawaguchi^{††}, Hiroyasu Saka[†]

Abstract: SiC is well known as hard-to-process material. High-speed and low-cost slicing and dicing technology became urgent need in power semiconductor industries. Laser abrasion technology has been developed because it is a dry and non-contact process. However, it also has demerit of debris pollution and thermal damage that leads to degradation of semiconductor device properties. In order to resolve these requirements, we tried to cleave SiC wafer by pulse laser irradiation. The sample surface and the internal structure after the laser irradiation was observed with a microscope.

1. 緒言

本学が所在する地域は自動車、航空機、工作機械、半導体デバイスをはじめとする“ものづくり”の産業集積地である。近年、地球環境保全と低炭素社会に向けた創・省エネルギーといった、さらなる高度な要求を満たす“ものづくり”が必要な時代になっている。

次世代の省エネルギー社会の構築に向け SiC をはじめとするワイドギャップ半導体のパワーデバイスや光デバイスが精力的に展開されている。これらグリーンデバイスとしての出発点はバルク基板であり、これらを結晶基板として適用すれば、これまでの Si 結晶基板に比べデバイス性能は数十から数千倍以上の物性を示し、炭酸ガス・電力の削減効果が極めて大きいとされる^[1]。

しかしながら SiC をはじめとするこれら結晶は極めて固く化学的に安定しているため、加工が難しく、また加工に伴い容易に欠陥が発生する。したがって Si 基板の加工プロセスに対し数十倍以上の長時間を要するとされる^[2]。

加工例としてインゴットからウェハへのスライシング加工の具体的手法として、古くから切断砥石あるいはワイヤーソーによるダイシングが用いられてきた。ここでは用いられる砥粒の開発等により効率は向上しているが、キリしろが必要であり、加工時には冷却や洗浄のため水あるいは薬品等が必要である、切り出し後の仕上げ加工も必要であるなど課題は多い。

一方、水素イオン注入剥離法による薄膜切り出し法^[3,4]は、精密で平坦、厚さ制御性、キリしろ無しで非接触かつドライ雰囲気加工可能で注目を浴びているがイオン注入プロセスは真空中で実施が必要であり、高ドーズイオン注入のために長いマシンタイムが必要であり高額なコストを要するのが難点である。

本研究は、透過光を用いたレーザー光を用いて圧倒的に歩留まりやタクトタイムを向上する加工法の実現性を調査するために行なった。実現すればパワー半導体、精密工具等多岐にわたる分野で注目を浴びる SiC 基板の任意形状に高速で加工する手法となる可能性がある。

ここではパルスレーザーの条件により、照射時の表面性状および内部結晶欠陥の差異について各種顕微鏡を用いて詳細を述べることにした。

[†] 愛知工業大学 総合技術研究所 (豊田市)
^{††} 浜松ホトニクス 電子管事業部 (磐田市)

2. 実験方法

	Pulse width	Wave length[nm]	Z-height [μm]	Output [μJ]
sample①	40ns	532	2	2
sample②	500ps	532	2	2
sample③	12ps	1030	2	2
sample④	1ps	1030	2	2

Table 1 Condition of pulse laser processing.

供試材は Tankeblue 社製単結晶 4H-SiC ウェハでオフセット角は 4° 厚さは 0.35mm である. 試料は 13mm 角に切り出し, レーザの入射方位は C 面に垂直な $[0001]$ 方向である. それぞれの試料に対するレーザの条件を表 1 に示す.

レーザ照射は最大パルスエネルギー 650mJ の Q スイッチ YAG レーザ装置 (波長: 532nm) を用いて以下の条件で行った. いずれも, $4\mu\text{m}$ 間隔でパルスを直線上に掃引し, 平行に $100\mu\text{m}$ ごとに掃引を繰り返した. 加工した領域の表面を光学顕微鏡 (OM), 断面構造を透過電子顕微鏡 (TEM) で観察した. 用いた OM はオリンパス MX-61IR, 透過電顕は日本電子 JEM-2010 を用いた. TEM 用の断面観察試料は集束イオンビーム加工装置 (FIB)、日立製 FIB-2200 を用いた. 加工に伴う試料の損傷を極力抑えるために最終仕上げ研磨は 2kV の低加速電圧で行った.

3. 実験結果

Figure 1 (a) および (b) は波長 532nm パルス幅 40ns のパルスレーザを照射した表面を光学顕微鏡で撮影した画像である. 照射力所には直径 $2\mu\text{m}$ の穴が形成されている. Figure 1 (c) および (d) は形成された穴周辺の断面 TEM 像である. 表面側の黒いコントラストは FIB 加工時に試料を保護するためのタングステン膜であり, 穴の空いた部分にもタングステン保護膜が廻り込んでいる. レーザ損傷は熱的作用を伴うため一度溶融し再結晶した痕跡と思われる厚さ 100nm 程度の領域が穴の周囲を取り巻いているのがわかる. また溶融し飛散したデブリも散見する. Figure 2 (a) および (b) は波長 532nm パルス幅 500ps のパルスレーザを照射した表面の様子である. 基盤の目状に黒いコント

ラストが現れている. これは直接的に表面の凹凸を表しているのではなく, 内部に形成された欠陥によるものである. Figure 2 (c) および (d) は断面 TEM 像である. 注目すべきは深さ $2\mu\text{m}$ 近傍に表面に平行に伸びる白いコントラスト部分が存在する. これはベーサルプレーン上に伸びるポイドとなっていた. 表面とポイドを持つベーサルプレーンとの間の領域には黒いコントラストが多数見られる. このコントラストは 2 種のものに大別でき, ベーサルプレーンに沿った方向とそれと直角な方向に存在する直線的な転位によるコントラストと, それらと方向が異なる曲線状の黒いコントラストであるベンドコンターが存在する. ポイドはレーザ光集光により形成されたと考えられ, その形成時の試料歪みからベンドコンターが現れたと考えられる.

Figure 3 (a) および (b) は波長 1030nm パルス幅 12ps のパルスレーザを照射した表面を光学顕微鏡で撮影した画像である. パルスレーザ照射力所には精緻な照射痕が見られるが穴の存在は確認できないが内部になんらかの改質された領域が白いスポットとして観察された. Figure 3 (c) および (d) はスポット周辺の断面 TEM 像である. ここから表面に明確な欠陥が形成されており, また内部にも数カ所の照射痕が垂直方向に離散的に存在していた. この照射痕はポイドではない. Figure 4 (a) および (b) は波長 1030nm パルス幅 1ps のパルスレーザを照射した表面を光学顕微鏡で撮影した画像である. 照射力所には表面近傍に広がった照射痕が見受けられた. Figure 4 (c) および (d) は形成された照射痕近傍の断面 TEM 像である. 表面近傍のみに転位が見られた.

加工手法としての観点から 4 種のサンプルから得られた結果を比較すると次のことがわかった.

sample①はいわゆるアブレーション加工であり, 表面に窪みを容易に形成する手法である. 一方 Sample④は典型的な超短パルスレーザ加工による表面加工が可能であり高品質な微細加工に適する. Sample③では内部に複数箇所の照射痕が存在した. レーザ出力を上げればステルスダイシング^{[5],[6]}のようにこの照射痕を起点にウェハを分割する加工に適すると考えられる. Sample②ではベーサルプレーンすなわち表面に平行な方向に沿ってポイドが形成された. ベーサルプレーンは劈開しやすい面であるためこのポイドを起点に表面を剥離させること, 至ってはインゴット等からウェハを切り出す手法に展開することが可能

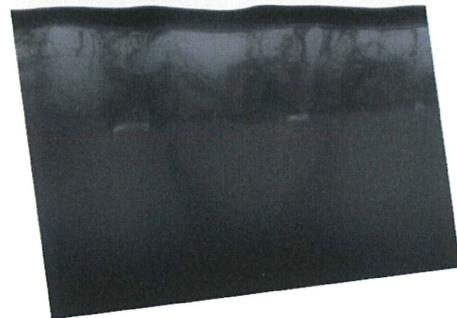
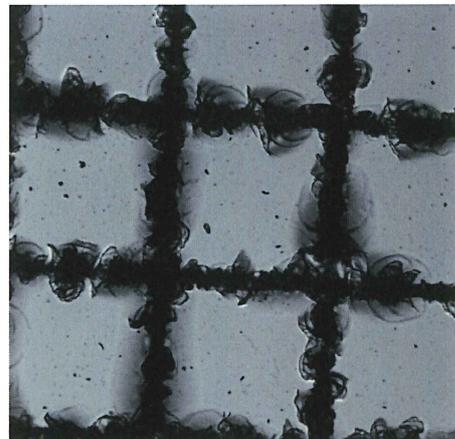
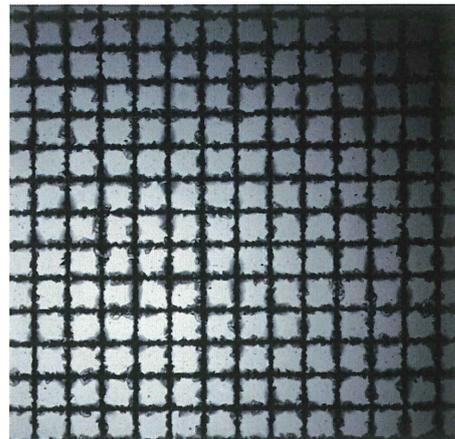
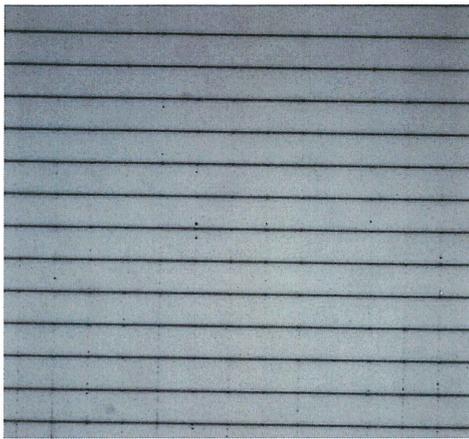


Figure 1 OM and TEM image of sample①

Figure 2 OM and TEM image of sample②

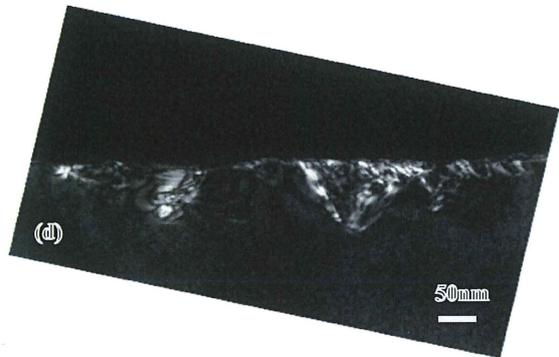
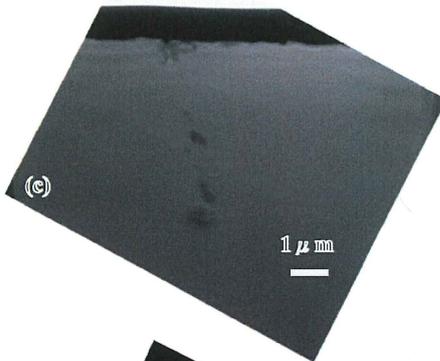
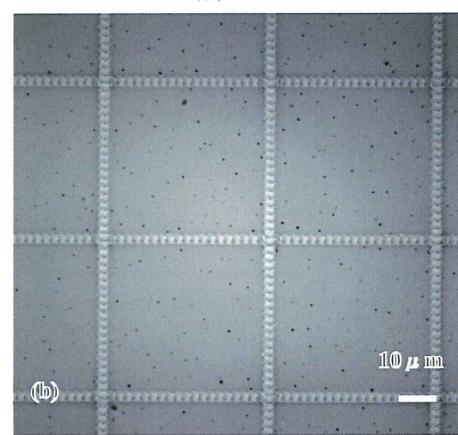
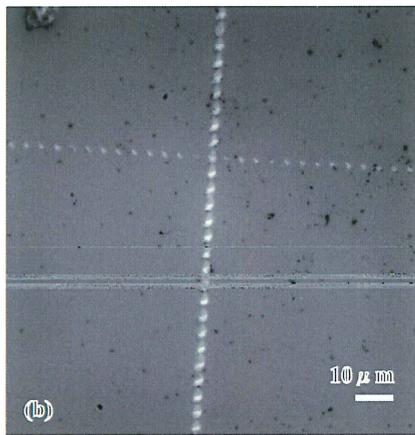
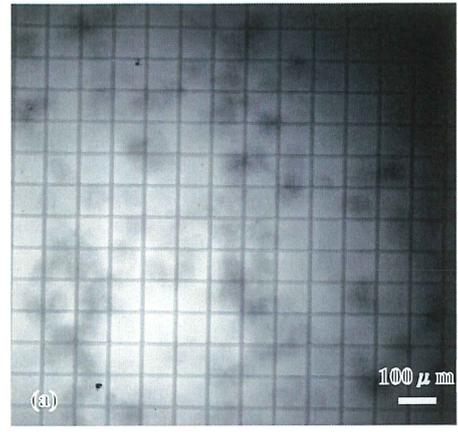
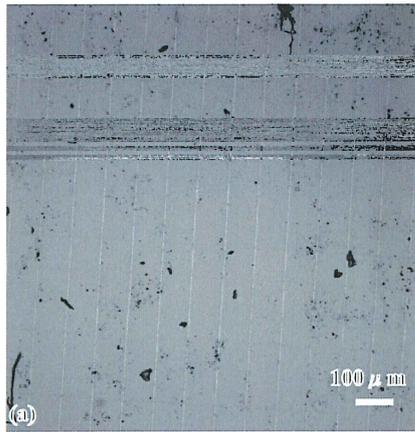


Figure 3 OM and TEM image of sample③

Figure 4 OM and TEM image of sample④

であることを示唆する。

4. 結言

パルスレーザーの照射条件特にパルス幅を変化させ SiC ウェハの表面から約 $2\mu\text{m}$ の深さに集光し加工を試みた。パルス幅により表面加工から内部改質加工までその特徴を明らかにした。今後の課題として以下の点が挙げられる, 1. 試料により内部集光あるいは表面加工と切り替わった理由はパルス幅のみに依存するわけでない。照射に用いたレーザーの波長は sample①と②では 532nm であり, ③, ④では 1030nm を用いている。この差異を明確にする必要がある。また SiC の誘電率等の物性が正しく評価され, レーザ光の集光状態がそれぞれのサンプルで等しいとは限らない。これらを追って詳細を調査する必要がある。

謝辞

本研究の一部は、文部科学省私立大学戦略的研究基盤形成支援事業および公益財団法人科学技術交流財団知の拠点あいち重点研究プロジェクトの援助により実施した。FIB を

用いた顕微鏡試料の作製はあいち産業科学技術総合センターの吉田陽子氏のご協力のもと実施した。

参考文献

- [1]For example, 土肥, 難加工材料ワイドギャップ半導体基板と研磨の深化を目指す超精密加工/CMP に向けて精密工学会プラナリゼーション CMP 委員会サマーキャンプテキスト(2015)
- [2]For example, 応用物理学会, 基板の加工と評価が切り拓く Si, SiC, GaN 結晶の基盤技術, 第 20 回結晶工学セミナー(2015)
- [3]M. Bruel, Electronics letters **31** (1995) 1201,
- [4] Q.Y. Tong, R.W. Bower, MRS Bulletin **23** (1998) 40
- [5] F.Fukuyo, K.Fukumichi and N.Uchiyama: Proceedings of the 6th International Symposium on Laser Precision Microfabrication (LPM2005)
- [6] P. C. Verburg, L. A. Smillie, G. R. B. E. Romer, B. Haberl, J. E. Bradby, J. S. Williams and A. J. Huis in't Veld : Appl. Phys. A ,120 (2015) 683-691.