



電子デバイス用ウエハのレーザ切断*

上田隆司** 田中邦茂*** 西岡真吾† 山田啓司†† 細川 晃**

Key words: laser cleaving, thermal stress, SiC wafer, InP wafer, double layer wafer, Refrigerating chucking system

1. 結 言

近年、シリコンや新しい電子デバイス用材料、ガラスなどの硬脆材料を高精度に切断する加工技術の開発が望まれており、様々な切断方法が試みられている。その中で、ウエハにレーザを照射して亀裂を伝搬させて分断するレーザ切断は、取りしるが不要である、切りくずが出ない、外力が作用しないためウエハの保持が必要ないなどの特徴があり、有力な加工法の一つである¹⁾²⁾。

レーザ照射によって生じる熱応力を利用してき裂を伝搬させるレーザ切断では、材料のもつ物理的特性の影響を大きく受け、切断の正否、熱損傷の有無、き裂伝搬の直進性、切断面粗さなど加工特性に大きく影響する^{3)~5)}。

そこで本研究では、SiC ウエハ、InP ウエハ、シリコンウエハ上にガラス板を陽極接合した2層構造ウエハなど電子デバイス用ウエハを取り上げ、これらの材料をレーザ切断することによりその加工特性について検討した結果について報告する。

2. 実 験 方 法

ウエハの一端を移動台に固定し、き裂先端部にレーザを照射しながら加工物を一定速度で移動することによりき裂を伝搬させた。レーザ光には連続発振 (CW) Nd-YAG レーザを用いた。加工実験は初めに各材料に対して切断が可能となるレーザ照射条件を求め、切断が可能となった段階で、高精度な加工が可能となる照射条件を定める手順で行った。照射する熱量の調整は、レーザエネルギー、移動速度、デフォーカス量を組み合わせて行った。

本研究で用いた実験材料を表1示す。炭化ケイ素ウエハ (4H-SiC)、インジウムリンウエハ (InP)、シリコンウエハ (Si) は電子デバイス用材料である。特に、シリコンウエハはその上に形成された電子回路を保護する目的でソーダ石灰ガラス (Soda lime glass) を陽極接合した2層構造のウエハを用いている。

3. 実験結果および検討

3.1 SiC ウエハの切断

a) 切断条件 SiC はワイドバンドギャップ半導体であり、高電力デバイス、高周波高出力デバイスなど次世代のデバイス用半導体として注目されている。SiC にはポリタ

イブが多くあり、本研究では代表的な4H-SiCを対象とした。SiCは表1に示すように高硬度材料であることからダイヤモンドブレードによる切断では工具の摩耗が速く、レーザ切断に期待するところが大きい。異方性を示すことから、本研究では、図1に示すように $\langle 2\bar{1}\bar{1}0 \rangle$ 方向にき裂を伝播させている。CWのNd:YAGレーザを用いておりレーザパワー130w、移動速度3mm/s、ジャストフォーカスで切断を行った。また、常温での切断がむずかしいことから、著者らが開発した冷凍チャックを用いて-5℃の状態を保持して切断している⁶⁾。初期き裂はビッカース圧子押し込むことによって導入した。

b) 切断結果 図2に切断結果を示す。(1)(a)に示すように、レーザ照射面に熱損傷が全く残らない切断を行うことができる。また、(b)に示す切断面にはき裂が伝搬するとき生じる痕跡もなく、 $Ra=0.1\mu m$ と精度の高い加工表面が得られていることがわかる。図3(1)には切断面のプロフィールを示すが、非常に滑らかな面が得られていることがわかる。レーザ切断がSiCウエハの加工に有力な手段であるといえる。

3.2 InP ウエハの切断とスクライビング

a) 切断条件 InP ウエハでは半導体レーザが光の共振器を内蔵しなければならないことから、劈開面と同等程度の粗さを持つ切断面が要求される。そこで、図4に示すように、切断面が劈開面となるように試験片を切り出した。レーザにはCWのNd:YAGを用いて、表2に示す条件の下で切断を行った。初期き裂はビッカース圧子押し込んで導入した。

b) 切断結果 切断結果を図2(2)に示す。レーザ照射面に照射痕を残すことなく切断を行うことができ、切断面も $Ra=0.24\mu m$ と滑らかな面が得られている。ところが図において、切断面には、縞模様が生じていることがわかる。劈開面からわずかにずれた面をき裂が進展するために生じ

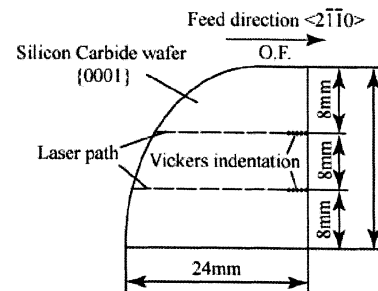


Fig.1 Workpiece of SiC wafer

* 原稿受付 平成20年6月13日

** 正会員 金沢大学大学院自然科学研究科 (金沢市角間町)

*** 正会員 榊住友電工ハードメタル (伊丹市昆陽北1-1-1)

† 正会員 株式会社通ゼネラル (川崎市高津区末長1116)

†† 正会員 広島大学大学院工学研究科 (東広島市鏡山)

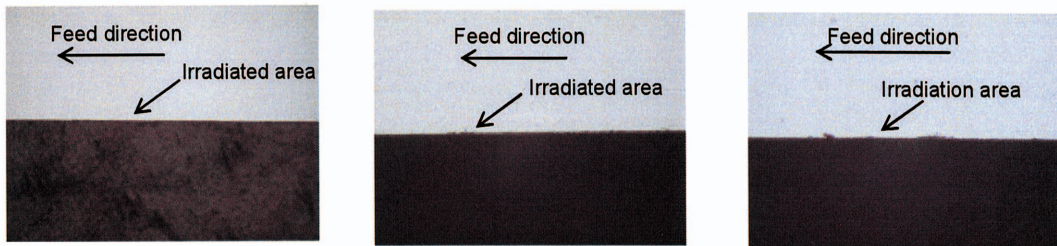
Table 1 Physical property of work materials(Provided from material companies)

		Wafer for electric device			
		4H-SiC	InP	Si	Soda lime glass
Thickness	mm	0.4	0.35	0.5	0.42
Density	g/cc	3.21	4.8	2.34	2.5
Hardness		Hv 2300	Knoop 400	Knoop 1150	Knoop 600
Young's modulus	Gpa	-	-	117.2	70
Fracture toughness	MPa·m ^{1/2}	1.49	-	0.6	0.82
Thermal conductivity	W/mK	490	0.7	156	1.3
Thermal expansion	10 ⁻⁶ 1/K	4.5	4.5	2.62	9.35

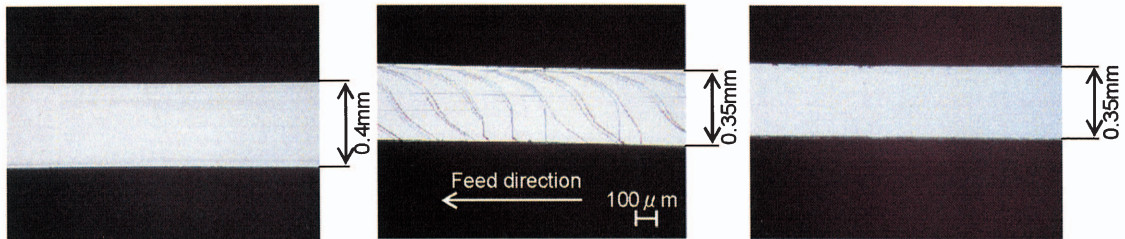
Table 2 Experimental conditions

			Wafer for electric device			
			4H-SiC	InP	Si	Soda lime glass
Laser			Nd:YAG(CW)	Nd:YAG(CW)	Nd:YAG(CW)	
Laser power	Q	W	130	20, 70	85	
Feed rate	V	mm/s	3	3	3	
Defocus		mm	0	0	Focused on Si wafer	
Initial clack			Vickers indenter	Knoop indenter	Knoop indenter	
Temperature			-5°C	RT	-5°C	

(a)Irradiated surface(Top view)



(b)Fracture surface(side view)



(1)SiC wafer
(Ra=0.1 µ m)

(2)InP wafer
(Ra=0.24 µ m)

(3)InP wafer(Laser Scribing)
(Ra=0.04 µ m)

Fig.2 Photograph of ceramics cleaved with laser beam

たとえられる。図3(2)に示す断面プロフィールにおいてもわずかな凹凸が残っており、高精度の面を要求されるInPウエハでは不十分な精度と考えられる。

C) レーザスクライビング そこで、面精度を改善する方法として、レーザスクライビングを行ってみた。スクライビングでは初期き裂は導入せず、Q=70W、V=3mm/sでレーザを照射し、その後機械的な曲げを加えることで材料を割る方法であり、割れは劈開面で起こることが期待できる。

レーザスクライビングを行った結果が図2(3)である。劈開面に沿って面が形成されるため、平均粗さRa=0.04µmという極めて滑らかな面が得られていることがわかる。ウエハ表面にレーザを照射し、その後機械的に曲げを負荷することにより劈開面に沿って一気に材料を分断するレーザスクライビングが有効な方法であると考えられる。

図3(3)にレーザスクライビングした面のプロフィールを示す。切断面に比べて極めて滑らかであることがわかる。

3.3 ガラスを陽極接合したシリコンウエハ

著者らはシリコンウエハの切断についてはこれまで詳細に検討を進めてきた。ところが、シリコンウエハ上に作られた電子回路を保護する目的から、しばしばガラス板で電子回路をカバーする必要がある。そこで、ここではシリコンウエハにガラスを陽極接合した2層構造をもつウエハの切断を試みた。

a) 切断条件 図5に実験試料を示す。確実に初期き裂を発生させるために、シリコンウエハ、ガラス共にピッカース圧子によるき裂を導入した。切断方向は<011>方向とした。レーザの照射条件をいろいろ工夫して切断を試みたが、レーザ照射によってき裂を進展させることができた

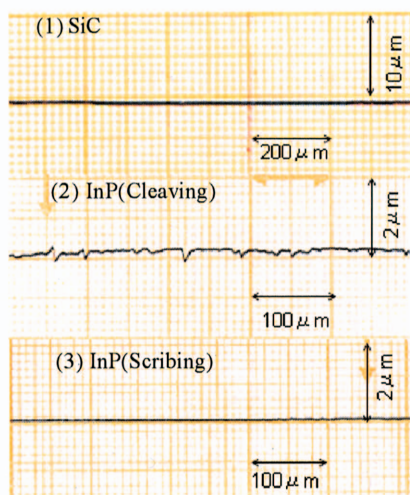


Fig.3 Profile of fractured surface

かった。光学的特性や熱的特性の異なる材料を重ね合わせているためと考えられる。そこで、冷凍チャックでウエハを保持し、 -5°C に冷却しながらレーザー光を照射し切断を行った⁶⁾。ウエハの温度を下げることで材料の脆性を高めることになり、き裂の伝搬が容易になることが期待できる。レーザーにはCWのNd:YAGレーザーを用いており、レーザーエネルギー：85W、移動速度：3mm/sとした。

b) 切断結果 図6に切断後の加工物拡大写真を示す。(a)に見るようにレーザーを照射した面にはガラス、シリコンウエハ共に照射痕は見られない。しかし、ガラスの切断面とシリコンの切断面にわずかなずれを生じている。ガラスの切断面が鉛直方向に真直ぐ切断されていないためである。ガラスとシリコンウエハの熱膨張に差があるためと考えられる。図6(b)に見るように、シリコンウエハの切断面にはき裂進展の跡が見られる。レーザー照射によりシリコンウエハ中をき裂が伝搬し、それに追従してガラスの中をき裂が進展し、切断が進行したと考えることができる。このときのシリコンウエハの切断面の粗さは $Ra=1.16\mu\text{m}$ であり、通常のシリコンウエハの切断面に比べて少し粗くなっている。したがって、2層構造のシリコンウエハでは冷却温度のコントロールが重要であり、温度が適切でない場合にはガラスとシリコンの境界面から副き裂が発生し、ガラス内を伝搬して表面に達し、切断予定線上から外れたところで材料が切断されてしまう。

4. 結 言

本研究ではSiCウエハ、InPウエハ、ガラスを陽極接合したシリコンウエハなど特徴ある電子デバイスウエハを取り上げ、レーザー切断を試みた。得られた結果をまとめると次のようになる。

- 1) 高硬度材料であるSiCウエハは常温での切断がむずかしい。しかし、冷凍チャックを用いて -5°C の状態を保持することにより高精度のレーザー切断が可能となる。
- 2) InPでは精度の高いレーザー切断が可能であるが、劈開面を活用したレーザースクライビングによって極めて滑らかな断面を得ることができる。
- 3) ガラスを陽極接合したシリコンウエハは光学的特性や

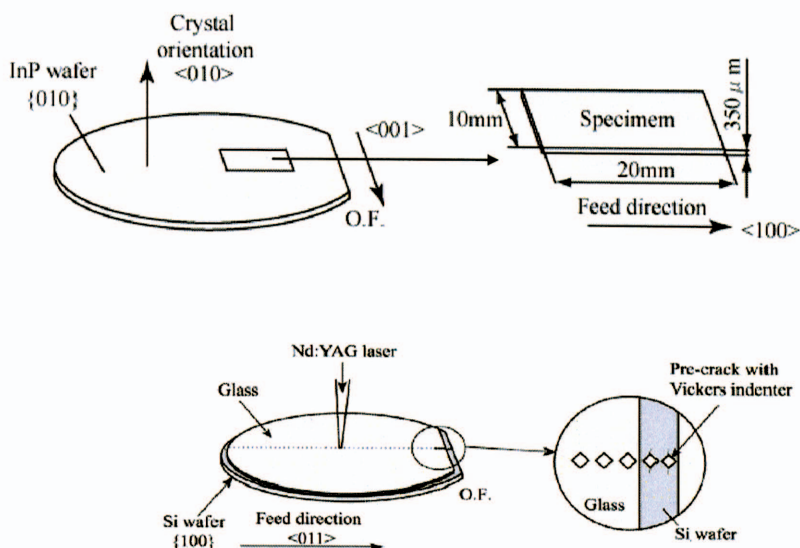
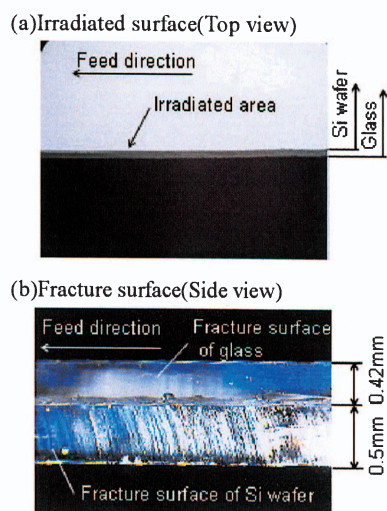


Fig.5 Workpiece of Si wafer covered with glass

Fig.6 Photograph of double layer wafer cleaved with laser beam ($Ra=1.16\mu\text{m}$)

熱的特性の異なる材料を重ね合わせていることから、常温でのレーザー切断はむずかしい。しかし、冷凍チャックを用いてウエハを -5°C に保持することにより、レーザー切断が可能となる。

参考文献

- 1) T.Ueda, K.Yamada, K.Oiso, A.Hosokawa: Thermal Stress Cleaving of Brittle Materials by Laser Beam, CIRP, 51/1/2002, 149.
- 2) 福世文嗣: ステルスダイシング技術とその応用, レーザ加工学会誌, 12, 1(2005)17.
- 3) 今井康文, 森田英毅, 高瀬 徹, 古賀博之: ぜい性材料の熱応力による切断加工の可能性, 日本機械学会誌(A編), 55,509(1989)147.
- 4) 黒部利次, 市川和浩, 永井久司: YAGレーザーによるシリコンウエハの切断, 精密工学会誌, 44, 497(1995)159.
- 5) 沢田博司: 電子材料のレーザー切断加工, レーザ加工学会誌, 12, 1(2005)11.
- 6) 山田啓司, 森田精一, 上田隆司, 細川 晃, 田中隆太郎: Nd:YAGレーザーによるSiウエハの切断加工に関する研究, 一冷凍チャックシステムによる効果一, 精密工学会誌, 72, 3(2006)393.