

TODAY

化合物半導体材料ビジネスからの教訓



住友電気工業株式会社
研究開発本部 常務執行役員
横川 正道

昨年6月に研究開発本部に所属するまでは、入社以来30有余年、筆者は一貫してGaAs(ガリウムヒ素)、InP(インジウム燐)、GaN(窒化ガリウム)といったⅢ-V族化合物半導体材料について「ビジネス」という側面から関わって来ました。Ⅲ-V族化合物半導体の多くは直接遷移型のバンド構造を持つため、Siにはない発光機能を有し、LED(発光ダイオード)やLD(レーザダイオード)といった光デバイスの発展に寄与して来ました。また化合物半導体の電子移動度はSiのそれに比べて速くかつ半絶縁性基板も容易にできるため、マイクロ波やミリ波領域での電子デバイスの発展にも寄与して来ました。

このように多くの有用なデバイスの発展に貢献してきた化合物半導体ですが、材料ビジネスという観点からは決して恵まれた存在ではなかったように思います。筆者の個人的な見方が入っているかもしれませんが、その理由を幾つか挙げたいと思います。

- ①デバイスメーカー同士の過当競争によりデバイスの価格が急速に下がり、そのしわ寄せが材料への値下げ圧力となった。デバイスメーカーに取り、材料メーカーはパートナーではなくベンダーであった。
- ②化合物半導体材料業界にも多数の企業が国内外で参入し、供給過剰状態の中でシェアを取るために値下げ合戦が続いた。
- ③需要拡大に貢献すると期待された超高速デジタルICの分野でSi-CMOSに負けた。個々のトランジスタの性能では化合物半導体の方が上回っていたが、集積化、微細化技術でSiに劣り、結局ICにした時の総合性能はSi-CMOSの方が優れていた。

④各社ともに研究開発投資が先行し、反面実ビジネスが大きくならなかったため、投資回収が全く進まず、会社経営陣の期待に応えることが出来なかった。儲かったのは設備メーカーだけ、という笑えないジョークがある。

⑤円高が続く輸出採算性が悪化した。化合物半導体材料のビジネス規模が小さいため、為替対策、コストダウンのためのグローバル展開が遅れた。

⑥GaやInといったレアメタルが地球上で偏在し、投機筋も加わり価格の乱高下を繰り返した。また原材料の値上り分をウェハ価格に転嫁するのが容易でなかった。

化合物半導体デバイスも材料と同じく、過剰キャパ、過当競争、円高の中で、ビジネスとしての健全性を失いつつあります。そのような中で唯一白色LEDの業界だけが健全性を保っているように思えます。白色LEDもベースとなる材料はInGaNという化合物半導体です。同じ化合物半導体でありながら、何故かくも違うのかは、注目に値しますし教訓を引き出すべきと考えます。

白色LED業界では、強力な特許を有する5~6社が競合他社に対して非常に大きな参入障壁を構築しました。また白色LEDの用途が液晶バックライトや一般照明等どんどん拡大し、需要と供給の適度なバランスが続きました。この中でも重要なことは「強力な特許網を築いて、競合他社の参入を困難にする」ことだと考えます。

GaNは日本発の材料と言っても過言ではありません。この材料をベースに日本に新しい産業を起して行くことは非常に重要です。易々と海外に技術移転をすべきではありません。今でも日本では新材料の研究開発が盛んに行われています。ここで重要なことは、単なる材料売りに終わるのではなく、「材料~デバイス~セット~システム」というビジネスモデルを考え、強力な特許網を構築し、どこで収益を上げるかを考えた総合的な新産業育成策が非常に重要になって来ています。

“平成23年度航空機用CFRPの高効率な非回転型加工技術の開発補助事業”
成果報告

— 新技術開発への挑戦 —

非鉄材料研究部 部長 箕浦 忠行

1. はじめに

本研究開発は、財団法人 JKA から小型自動車等機械工業振興補助事業として補助金の交付を受けた研究開発事業として、平成23年度に実施したものである。本研究開発の基となった研究開発は、財団法人 JKA から機械工業振興資金の交付を受けた機械システムに関する調査研究等補助事業を財団法人機械システム振興協会から委託され研究開発事業として、平成22年度に実施したものである(JRCM NEWS2011.6 No.296 参照)。

これまでの研究開発において、CFRP (Carbon Fiber Reinforced Plastics) 平板での新提案工具の実用性は認められ、従来工具(回転工具)に比べて、機械自体の低コスト化、省エネ化をアピールできた。加工後の粉塵も従来工具の場合、細かな粒子が飛び散り人体に影響があるが、新工具で加工すると切粉が飛び散らず下に落ちて切屑になるため環境に優しいという長所も確認できた。

一方工具のチッピングや磨耗が課題として残っている。そこで今回更なる改良を目指し工具に振動を与える加工方法にてCFRP加工の評価を行うため以下に示す目的と方法で、研究開発を進めた。

(1) 事業の目的

- 1) CFRPへのダメージ低減と工具寿命の向上を実現する新工具を提案する。
- 2) 提案する新工具の特徴を最大限に活用する加工方法を確立する。

(2) 実施内容

- 1) 振動発生によるCFRP加工の評価を行う。
- 2) 振動加工によるCFRP切断を実現する。
- 3) 工具の性能を評価する。
- 4) ワーク(被切削物)の加工面評価を実施する。

2. 研究開発の概要

2.1 振動発生装置の開発

これまでこれら層間剥離によるワークのダメージ、切粉処理、及び経済性に対応する為、回転を用いない切削性に優れた工具の開発を行い、実験を行ってきたが、工具のチッピングや磨耗が課題として残っている。

今回更なる改良を目指し工具に振動を与える加工方法にてCFRP加工の評価を行うため図2-1に示す振動発生装置を開発した。

基本原理は、図2-2に示す切削工具に振動を与えながらの切削を可能にする。

2.2 CFRP 切削加工試験結果

(1) 切削加工試験概要

試験片には、1軸45°傾斜繊維をもつCFRP(幅10mmの板材)、1軸90°傾斜繊維をもつCFRP(幅10mmの板材)

および2軸直行繊維をもつCFRP(幅10mmの板材)の3種類を用いた。2軸直行繊維材は、切削加工のダメージを測定するために活用した。

加工試験に用いた工具には、一般超硬材と超微粒バインダレス超硬材で作製したものと、サファイヤ単結晶にて作製したものも用いた。加工試験に用いた工具の刃先角は60°である。

これまでの加工試験では、工具を試験片端面から押し込むように切り込んでいたため、工具にチッピングが発生していたと考えられるため、この加工試験では、工具の試験片への侵入方法を、従来の方法に加え、円弧でのアプローチを加えた。

(2) 切削加工試験結果

切削加工試験は、CFRPの繊維方向、工具の種類(状態、材質)、切込量、加振周波数および切削距離をパラメータとして実施した。今回の事業の主目的は、前述の様に工具寿命の向上を可能とする工具と加工法の開発であ



図 2-1 振動発生装置

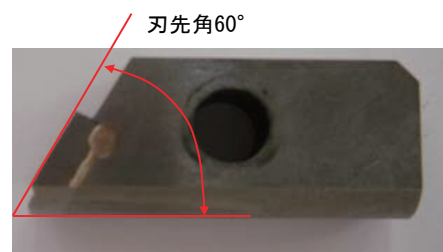
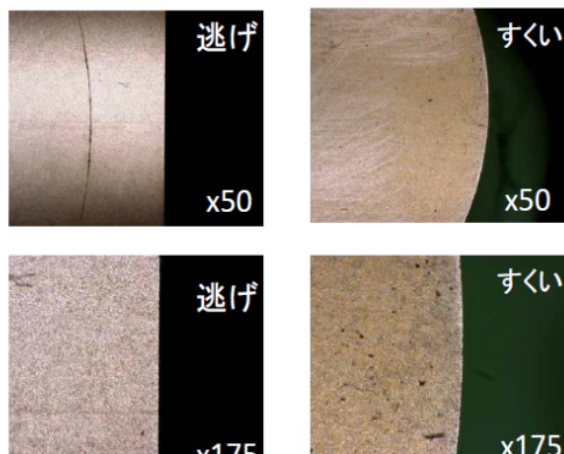
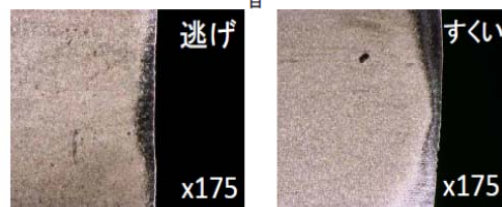


図 2-2 使用工具

新品工具、60度、(15060-2) 加工前



5000mm/min、加振なし、45° 順目、円弧、0.5mm、1mmピッチ、新品60度(15060-2)、1層目



5000mm/min、加振なし、45° 順目、円弧、0.5mm、1mmピッチ、新品60度(15060-2)、4層目

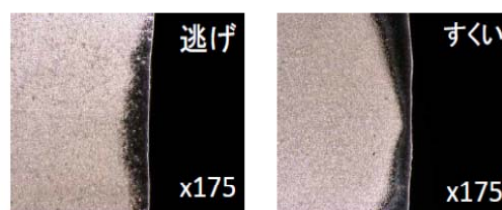


図 2-3 工具面観察結果 (加工前、1/4 層目)

る。加振なしの加工条件で、加工前の新品工具の写真と、1層加工後および4層加工後の工具の状態の一例を図2-3に示す。両者を比較すると、すくい面にも逃げ面にも欠損やチッピングは存在せず、わずかに工具摩耗による形状変化・減肉が認められるのみであった。

さらに切削加工を進めた結果、工具欠損やチッピングは、合計26層の切削加工(13mm厚×695mm長)後も発生せず、工具摩耗のみが認められた。図2-4に21層目の加工後の工具の状態を示す。今回の試験で使用したCFRPは0.5mm間隔で炭素繊維が積層されており、切削は1mmピッチで行ったため、工具刃先は同じ位置で炭素繊維を切断する事になり、磨耗状況が波状になったものと思われる。また、磨耗は実際に多くのCFRP除去を行っている工具の左右両面で多く認められ、工具中央ではあまり摩耗は発生していなかった。このことから、工具摩耗の原因は、CFRPと工具の間で発生する摩擦や衝撃などを含む切削現象によるもので、切削のエネルギーが無駄に消費されていることを示している。つまり、適切な切削加工条件を探することで、この工具の摩耗を減少させられる可能性がある。特に、CFRPを構成している高強度繊維の破壊に伴う現象として、この工具摩耗が存在すると考えられる。繊維を切ることができれば、この工具摩耗は減少すると考えられる。

振動発生装置を利用した加振条件においても工具欠損・チッピングのない切削加工条件では、工具の摩耗の進行は認められたものの、工具欠損はすくい面においても逃げ面においても認められないことが確認できた。このため、同様の切削加工条件で工具に加振した状態での工具の

観察を行った。加振の条件は、別に行った振動計測の結果を参考にして決定した。工具のすくい面と逃げ面に対しては、これまでの加工同様、頻りに工具表面の状況を観察確認した。1層加工後の工具の状態をみると、加工前工具では見られなかったわずかなチッピングがすくい面に認められ、逃げ面にも摩耗による浸食減肉が認められた。(図2-5)両面ともにこれまでも見られた変色層が見られた。この変色層はこれまで以上に波状に形成されていた。

加振をしなかった場合に比べ特徴的なのは、波状に形成される摩耗が非常に顕著であり、その大きさと形状が相似的に拡大する点、工具摩耗の節と変色層の節が類似の場所であり、互いが逆位相となっている点である。これがCFRPの加工性とどのように関係があるのかは今後の課題である。

2.3 ワークの評価

(1) 試験片

今回の切削方法にて加工されたワーク(被削材)の力学特性を確認する為、図2-6に示す試験片をそれぞれの切削加工条件にて複数本製作した。

試料A 60°新工具 振動なし

試料B 60°新工具 振動400Hz

試料C 60°新工具 振動2,360Hz

試料D エンドミル 振動なし(2枚刃、3000rpm)

5000mm/min、加振なし、45° 順目、円弧、0.5mm、1mmピッチ、新品60度(15060-2)、21層目

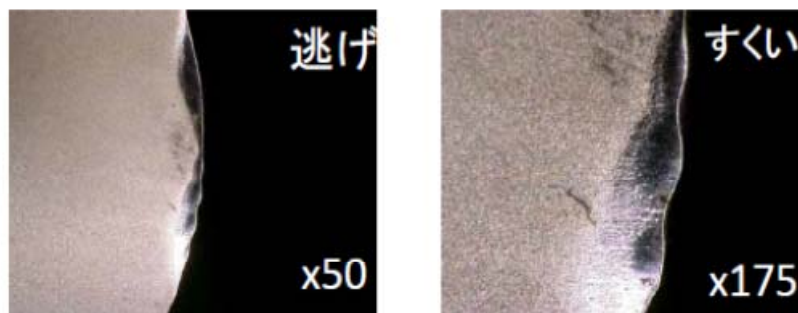


図 2-4 工具面観察結果

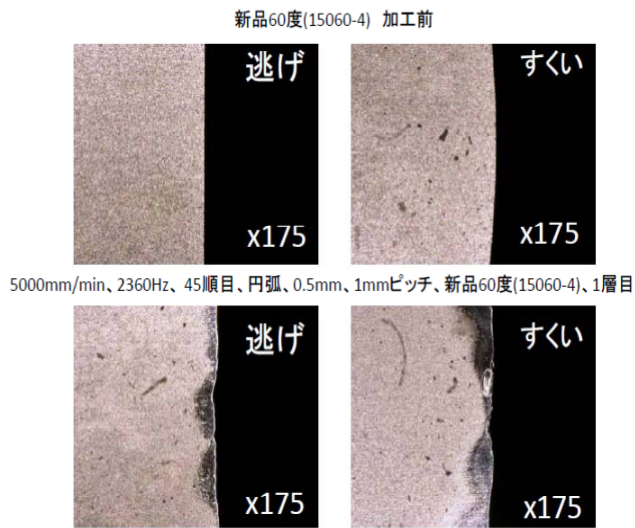


図 2-5 工具面観察結果 (加振条件：加工前 / 1層目)

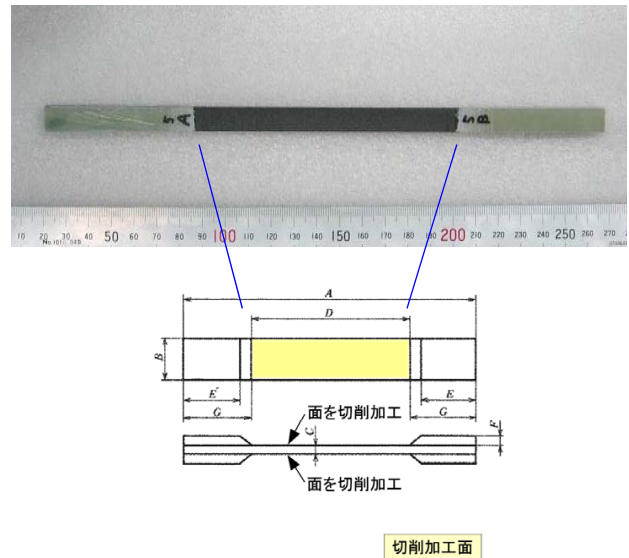


図 2-6 ワーク試験片

(2) 試験方法

試験方法は、1) 引張強度試験 (2.0mm/min のクロスヘッドスピードにより引張変位を荷し、引張破断強度を実験室環境 (室温 23℃、湿度 30%) にて求める) および 2) 赤外線サーモグラフィ試験 (試験片に引張荷重を油圧サーボ形材料試験器にて、600 ± 500N、5Hz の Sin 波で荷しながら、熱弾性応力測定及び散逸エネルギー測定を行う) を用いた。

(3) 引張強度試験結果

図 2-7 に引張破断強度試験結果を示す。右図は、縦軸を 70~110MPa の範囲へ拡大したものである。新工具を用いたの加工では、振動を周波数 2,360Hz で加えた場合に、振動を加えなかった場合と比較して、約 5% の有意な上昇が見られた。

一方、振動を 2,360Hz で加えた場合は、振動を 400Hz で加えた場合及び従来工具 (エンドミル) の結果より 2.5% 程度平均値は大きくなっているが、統計的な有意差はなかった。また、新工具で振動を加えなかった場合と従来工具の比較においても、平均値は異なるものの有意差はなかった。

3. 今後の研究開発

航空業界、自動車業界各社において CFRP の高品質低コストの切削加工技術に対する強いニーズに変化はない。CFRP 適用のニーズが高まるにつれ CFRP 切削加工技術に対するニーズも高まる状況である。

振動を付加する切削方法については、主要パラメータの変化に対する影響を確認するだけの試験条件数と信頼性を確保するだけの試験データ数の不足により、振動を付加することによる明確な優位性を示す結果までは本研究開発においては得られなかった。

ただし、工具のチッピング現象については切削パスを局所的な負荷の低減を図る工夫等により回避出来る事が確認できた。

本研究開発課題は、ハードルの高いものではあるが、今後振動を付加することによる切削方法のメリットを追求し、無回転工具の形状、材質等の条件を変えて切削に関する研究を行い、回転型従来切削方法に対して優位となる切削条件を見つけ実加工への応用を探って行きたい。

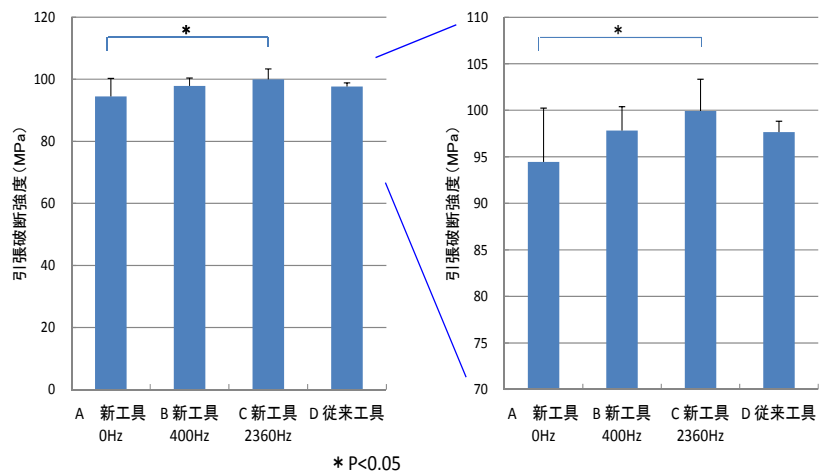


図 2-7 加工方法と引張破断強度の比較

The Japan Research and Development Center for Metals

JRCM NEWS / 第 312 号

内容に関するご意見、ご質問は JRCM 総務企画部までお寄せください。
本書の内容を無断で複写・複製・転載することを禁じます。

発行 2012 年 10 月 1 日

発行人 小紫 正樹

発行所 一般財団法人 金属系材料研究開発センター

〒 105-0003 東京都港区西新橋一丁目 5 番 11 号 第 11 東洋海事ビル 6 階

T E L (03)3592-1282 (代) / FAX (03)3592-1285

ホームページ URL <http://www.jrcm.or.jp/>

E-mail jrcm@oak.ocn.ne.jp