



カルコゲナイド光ファイバを用いた赤外線輻射 温度計による常圧焼結 SiC の研削温度測定*

上田 隆 司** 山田 啓 司*** 杉 田 忠 彰**

Key words: grinding temperature, silicon carbide, chalcogenide optical fiber, infrared radiation pyrometer

1. 緒 言

前報¹⁾では石英光ファイバより長波長の赤外線を送ることができるふっ化物光ファイバと高速光電変換素子 InSb を組み合わせた赤外線輻射温度計を用いることにより、常圧焼結 Si₃N₄ を研削加工したときの研削表面層の温度分布を測定することに成功した。ところが、同じ温度計を常圧焼結 SiC の研削温度測定に適用したところ、SiC は Si₃N₄ よりはるかに被削性がよいことから温度が上がらず (付録参照)、約 100°C 以上しか測定できないこの温度計では精度良く測定することができなかつた[†]。

そこで、本研究ではふっ化物光ファイバの代わりにさらに長波長の赤外線を送送できるカルコゲナイド光ファイバを用いて温度計の改善を試みると共に、SiC 内の研削温度測定に適用してみた。

2. 研究 方 法

2.1 温度 計

カルコゲナイド光ファイバは周期律表 6B 族元素 S, Se, Te を主成分とするカルコゲナイドガラスをコア材としたファイバであり、表 1 にその特性値を示す²⁾。石英やふっ化物ガラスを用いたファイバはコアクラッド構造をしているのに対し、カルコゲナイド光ファイバはコアをテフロンでコーティングしており、このテフロンがクラッドの役目も果たしている。また、コア径もこれまでのファイバが 50 μm であったのに対し、強度の低さをカバーするため 320 μm と大きくしている。このため、感温面積が大きくなることから使用範囲は限定されるが、本研究の場合大きな問題ではない。図 1 は伝送損失 (測定値) であり、ふっ

化物光ファイバと比較している。ふっ化物光ファイバに比べ全体的に損失がほぼ 1 けた程度大きくなっているが、6 μm 以上の赤外線まで伝送することができる。

温度計の基本構造はこれまでと同じであり、測定対象物から輻射された赤外線を光ファイバで受光して伝送し、集光レンズを介して InSb セルに導き、電気信号に変換する構造をしている。したがって、この温度計を用いて温度 T の黒体から輻射される赤外線エネルギーを測定したとき得られる相対感度 A は黒体の輻射能を $J(\lambda, T)$ 、光ファイバの分光透過率を $F(\lambda)$ 、集光レンズの分光透過率を $G(\lambda)$ 、光電変換素子の分光感度特性を $D(\lambda)$ とすると、次式で与えられる³⁾。

Table 1 Characteristics of chalcogenide optical fiber

Core diameter	320 μm
Core material	As ₄₀ S ₆₀
Refractive index of core ($\lambda=5 \mu\text{m}$)	2.41
Cladding	PTFE

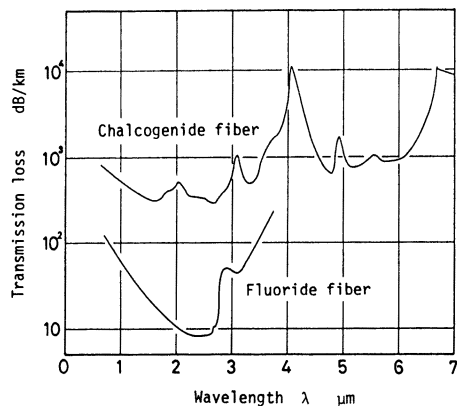


Fig. 1 Spectral transmission loss of chalcogenide fiber and fluoride fiber

* 原稿受付 平成 2 年 3 月 19 日

** 正 会 員 金沢大学工学部 (金沢市小立野 2-40-20)

*** 学生会員 金沢大学工学部

† 研削温度測定時のノイズなどの影響を考慮すると、実質的には 150°C 以上の温度が測定可能である。

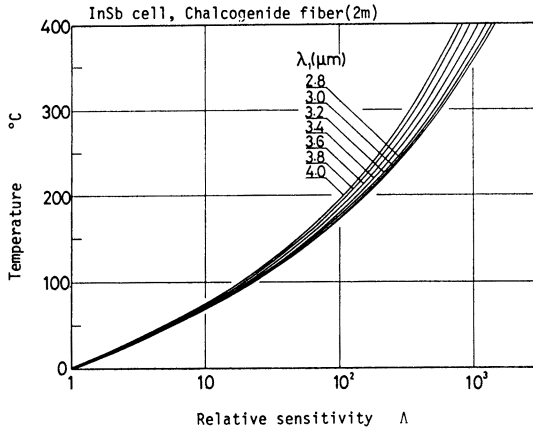


Fig. 2 Theoretical relative sensitivity of InSb-I. R. P. with chalcogenide fiber

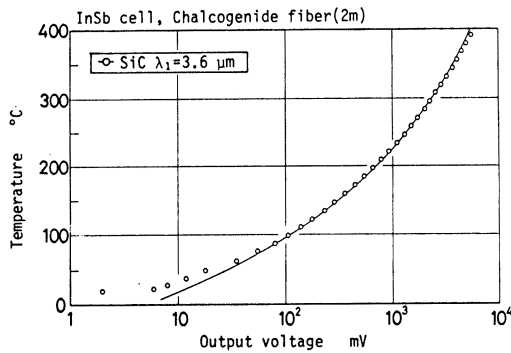


Fig. 3 Calibration curve for SiC specimen

$$A = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \beta J(\lambda, T) F(\lambda) G(\lambda) D(\lambda) d\lambda$$

ただし、 β は比例定数、 $\lambda_1 \sim \lambda_2$ は測定可能な波長範囲である。InSbセルの長波長側のカットオフ値が $5.5 \mu\text{m}$ であることから、 $\lambda_2 = 5.5 \mu\text{m}$ とおき、 λ_1 をパラメータとして相対感度 A を計算した結果が図2である。400°C以下の温度では λ_1 を $3 \mu\text{m}$ より小さく設定しても感度に大きな差を生じない。

2.2 出力校正

既知の温度に加熱されたSiCから放射される赤外線を経典ゲナイド光ファイバで受光し、温度計の出力電圧を測定した結果が図3である。ふっ化物光ファイバを用いた場合に比べるとよく改善されており、約25°Cの温度を感知しているが、環境温度の影響やノイズの問題があり、50°C以上を精度よく測定することができると考えている。しかし、低い温度を測定できるように感度を上げていたため、400°Cを越える高温になると出力が飽和してしまう。また、図中の実線は図2の理論曲線の中で最もよく実験結果と合う $\lambda_1 = 3.6 \mu\text{m}$ の曲線を当てはめたものである。50°C以

Table 2 Characteristics of SiC

Density	3.13 g/cm ³
Bending strength	590 MPa
Hardness	95.5 HRA
Thermal conductivity	80 W/mK

下の低温で少しはずれてはいるものの、全体的によく一致している。

2.3 実験方法

実験装置は前報¹⁾と同じである。砥石周速度 $V = 1570 \text{ m/min}$ 、テーブル速度 $v = 12 \text{ m/min}$ 、切込み深さ $t = 20 \mu\text{m}$ のもとで、乾式上向きワンパス平面研削を行い、SiC内の温度分布、および研削抵抗を測定した。加工物の底面から研削表面近傍まであけた直径 0.6 mm の小穴に長さ約 2 m のカルコゲナイド光ファイバ1本を受光面が小穴の底面と接する位置まで挿入する。砥石が小穴の上を通過するとき、小穴の底面から放射される赤外線をカルコゲナイド光ファイバで受光し、InSbセルへ伝送して電気信号に変換する。測定信号はサンプリング間隔 $1 \mu\text{s}$ でデジタルメモリーに記録した後、パーソナルコンピュータで処理する。小穴が研削表面に貫通するまで測定を繰り返す。

研削抵抗は圧電素子型動力計上加工物を取り付け、水平分力 F_t 、垂直分力 F_n を測定した。

2.4 実験材料

加工材料には常圧焼結したSiC(研削面形状: $25 \times 8 \text{ mm}$)を用いた。SiCの特性値を表2に示す。砥石はレジソボンドダイヤモンド砥石(形状 $\phi 200 \times 10 \text{ mm}$ 、集中度: 80、砥粒: #60/80, CSGII)である。

3. 実験結果

測定波形を図4に示す。加工物の研削表面から内部への深さを Z としている。 $Z = 40, 20 \mu\text{m}$ における測定結果であるが、鮮明な波形が得られており、十分な精度で測定されていることがわかる。図より明らかなように、数msの時間幅を持った温度変化はあるもののパルス状の出力が全く測定されておらず、前報の Si_3N_4 (熱伝導率: $13 \sim 29 \text{ W/mK}$) の場合の出力波形と大きく異なっている。すなわち、本研究で用いたSiCは赤外線を透過しにくい性質を持ち、加工物内の温度上昇に伴って小穴底面から放射される赤外線だけを測定していることになる。また、熱伝導の良いSiCでパルス状の出力が測定されなかったことから、前報において測定されたパルス状の出力はすべて Si_3N_4 内を透過してきた赤外線によるものと判断できる。

さらに、HIP焼結した Al_2O_3 (熱伝導率: 29 W/mK) の研削温度測定に本温度計を適用してみた。し

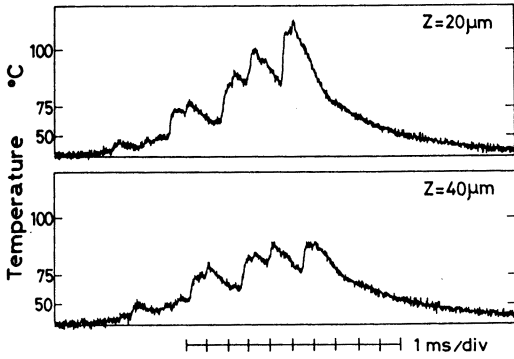


Fig. 4 Output waves of grinding temperature in surface layer of workpiece SiC
 $V=1570$ m/min, $v=12$ m/min, $t=20$ μ m, $F_n=92.4$ N, $F_t=17.6$ N

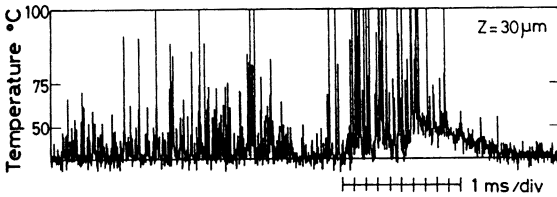


Fig. 5 Output wave of grinding temperature in surface layer of workpiece Al₂O₃
 $V=1570$ m/min, $v=12$ m/min, $t=30$ μ m, $F_n=159$ N, $F_t=27.0$ N

かし、Al₂O₃ は熱伝導が悪く、しかも Si₃N₄ ほど研削抵抗が大きくなることから、加工条件を $t=30$ μ m と過酷にしているにもかかわらず図 5 にみるように加工物内の温度は高々 50°C 程度にしか上がらず、この温度計でも測定が難しい。今後ノイズを減らすなどの工夫を要する。また、Al₂O₃ は Si₃N₄ より赤外線をよく透過するため、砥石が穴の上部を通過するはるか以前からパルス状の出力が検出されており、このパルスが温度測定の妨害となっている。

図 4 の結果から、加工物内の温度分布を求めた結果が図 6 である。Si₃N₄ よりも被削性が良いため研削抵抗が小さく温度ははるかに低い。研削表面下 $Z=40$ μ m ですでに 100°C 以下となっている。また、熱伝導率が Si₃N₄ よりはるかに大きいため、温度降下勾配も小さくなり、研削表面 ($Z=0$ μ m) の温度も低いと推定できる。

4. 結 言

石英光ファイバやふっ化物光ファイバより長波長の赤外線を伝送できるカルコゲナイド光ファイバと高速光電変換素子 InSb を組み合わせた赤外線放射温度計によって、常圧焼結した SiC の研削温度測定を試みたところ、この材料の赤外線を透過しにくい性質も手

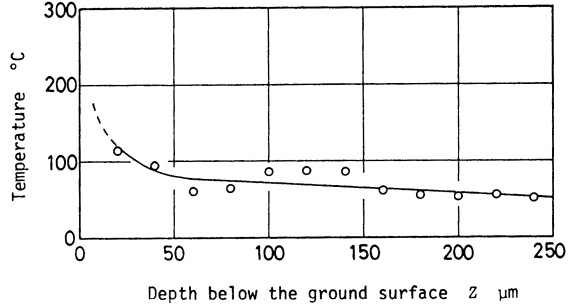


Fig. 6 Temperature distribution in surface layer of workpiece SiC
 $V=1570$ m/min, $v=12$ m/min, $t=20$ μ m, $F_n=92.4$ N, $F_t=17.6$ N

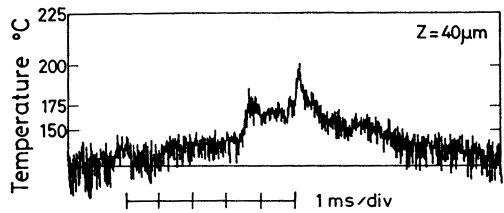


Fig. 7 Output wave of grinding temperature of workpiece SiC using InSb-I. R. P. with fluoride fiber
 $V=1570$ m/min, $v=12$ m/min, $t=40$ μ m, $F_n=154$ N, $F_t=28.4$ N

伝って、加工物内の温度分布を精度良く測定できることができた。

終わりに、カルコゲナイド光ファイバ、ふっ化物光ファイバ、およびセラミックスの提供を受けた非酸化物ガラス研究開発(株)山岸隆司氏、NTT、および日本タングステン(株)に深謝する。

[付 録]

SiC を加工したときの研削温度をふっ化物光ファイバ型赤外線放射温度計で測定し、コア径の影響を調べた結果が図 7 である。加工条件を $t=40$ μ m と過酷にしているにもかかわらず、この温度計の測定限界に近い温度にしか上昇していないため、ノイズの多い波形となっている。しかし、コア径 50 μ m の光ファイバを用いてもパルス状の出力が検出されていないことが確認できる。

参 考 文 献

- 1) 上田隆司, 山田啓司, 杉田忠彰: ふっ化物光ファイバを用いた赤外線放射温度計による常圧焼結 Si₃N₄ の研削温度測定, 精密工学会誌, 56, 8 (1990) 1452.
- 2) 山岸隆司: 赤外線透過用カルコゲナイドガラスファイバ, New Glass, 3, 4 (1989) 10.
- 3) T. Ueda, A. Hosokawa and A. Yamamoto: Studies on Temperature of Abrasive Grains in Grinding - Application of Infrared Radiation Pyrometer, ASME, J. Engg. Ind., 107, (1985) 127.