



(19)  
Bundesrepublik Deutschland  
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 695 32 210 T2 2004.08.26**

(12) **Übersetzung der europäischen Patentschrift**

(97) **EP 0 846 939 B1**

(51) Int Cl.<sup>7</sup>: **G01J 5/60**

(21) Deutsches Aktenzeichen: **695 32 210.9**

(96) Europäisches Aktenzeichen: **98 102 597.6**

(96) Europäischer Anmeldetag: **26.04.1995**

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **10.06.1998**

(97) Veröffentlichungstag

der Patenterteilung beim EPA: **26.11.2003**

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **26.08.2004**

(30) Unionspriorität:

**11717294            30.05.1994    JP**

**11717394            30.05.1994    JP**

(84) Benannte Vertragsstaaten:

**DE, FR, GB**

(73) Patentinhaber:

**JFE Steel Corp., Tokio/Tokyo, JP**

(72) Erfinder:

**Takayama, Takamitsu, Kawasaki-ku, Kawasaki**

**210, JP; Yamada, Yoshiro, Kawasaki-ku, Kawasaki**

**210, JP**

(74) Vertreter:

**HOFFMANN · EITLE, 81925 München**

(54) Bezeichnung: **Verfahren zur Temperaturmessung mittels einer optischen Faser und Vorrichtung dafür**

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und zu begründen. Er gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist (Art. 99 (1) Europäisches Patentübereinkommen).

Die Übersetzung ist gemäß Artikel II § 3 Abs. 1 IntPatÜG 1991 vom Patentinhaber eingereicht worden. Sie wurde vom Deutschen Patent- und Markenamt inhaltlich nicht geprüft.

**Beschreibung****HINTERGRUND DER ERFINDUNG****1. Gebiet der Erfindung**

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zum Messen der Temperatur unter Verwendung einer optischen Faser und eine Vorrichtung dafür.

**2. Beschreibung des zugehörigen Standes der Technik**

[0002] Thermoelemente des Verbrauchs-Typs sind weitläufig verwendet worden, um eine Temperatur von geschmolzenen Metallen zu bestimmen. Da die entfernbaren Sensorsonden vom Wegwerf-Typ sind, ist die Temperaturmessung intermittierend. Weil die Sensorsonde bei jeder Messung ersetzt werden muss, ist die Erhöhung der Anzahl von Messungen aufgrund des hohen Preises der Sensorsonde schwierig und ist auch ein automatischer Betrieb schwierig. Zusätzlich kann, da die Sonde einen Durchmesser hat, der so groß wie 30 mm oder darüber ist, und da sie eine Länge von 1 m oder darüber aufweist, eine Messung in einem schmalen Raum nicht ausgeführt werden.

[0003] Es gibt eine zunehmende Nachfrage nach einer kontinuierlichen Temperaturmessung von geschmolzenem Metall. Als Reaktion auf die Situation ist eine praktische Einheit eingeführt worden. Die Einheit verwendet eine Keramikschutzröhre, die in ein geschmolzenes Metall eingetaucht wird. Ein Thermoelement wird in die Schutzröhre eingefügt, um die kontinuierliche Temperaturmessung auszuführen. Ein Problem bei diesem Verfahren ist die Haltbarkeit der Schutzröhre, und das Verfahren führt die Temperaturmessung nur für 40–50 Stunden aus. Das Verfahren weist auch ein Problem einer kostenaufwendigen Schutzröhre und eines schlechten Ansprechverhaltens auf eine Temperaturschwankung auf.

[0004] Im Hinblick auf eine Lösung der voranstehend erwähnten Probleme haben die Erfinder ein Temperaturmessgerät und ein Pegelmessgerät für geschmolzenes Metall vorgeschlagen, wobei diese Geräte in der JP-A-248960/93 (der Ausdruck JP-A-", auf den hier Bezug genommen wird, bezeichnet einfach eine "nicht geprüfte japanische Patentveröffentlichung") offenbart sind. Gemäß der Patentveröffentlichung bestimmt das Thermometer kontinuierliche eine Temperatur eines geschmolzenen Metalls durch kontinuierliches Eintauchen einer optischen Faser, die mit einer Metallröhre bedeckt ist, in das geschmolzene Metall und durch Erfassen von Infrarotstrahlen, die durch die optische Faser übertragen werden. Mit der verbesserten mechanischen Festigkeit der optischen Faser aufgrund der Abdeckung mit der metallischen Röhre kann die optische Faser in das geschmolzene Metall eingetaucht werden.

[0005] Jedoch weist ein Strahlungsthermometer

dieses Typs, der eine optische Faser während der Temperaturmessung verwendet, Nachteile dahingehend auf, dass mit der Verringern der Faserlänge ein Übertragungsverlust abnimmt, eine Anzeigetemperatur zunimmt, Messfehler erzeugt werden und die erfasste Lichtmenge ansteigt, um die Kapazität eines Strahlungsthermometers zu übersteigen.

[0006] Wenn eine optische Quarzfaser, eine GI-Faser (das Verhältnis des Kerndurchmessers zu dem Ummantelungsdurchmesser beträgt 50/125  $\mu\text{m}$ ) für eine Kommunikation als der Lichtwellenleiter verwendet wurde und wenn ein Strahlungslicht, welches von einem Hochtemperaturtarget bzw. -ziel emittiert wird, von einem Ende der optischen Faser eingeleitet wurde, und wenn ein SI-Detektor mit einer Empfangswellenlänge von 0,9  $\mu\text{m}$  und ein Infrarot-Strahlungsthermometer, die an dem anderen Ende der optischen Faser zur Bestimmung der Temperatur von ungefähr 1200°C positioniert wurden, verwendet wurden, war der erzeugte Fehler ungefähr 10°C pro 100 m einer Verringerung der optischen Faserlänge.

[0007] Es existiert ein Verfahren zum Kompensieren des Messfehlers, der durch die Verringerung der Länge der optischen Faser, die voranstehend beschrieben wurde, verursacht wird. Gemäß dem Verfahren wird die Zuführungslänge der optischen Faser durch einen Mechanismus wie eine Berührungsrolle bestimmt und wird die Dämpfung aus einem bekannten Übertragungsverlust der Faser berechnet, um den Fehler zu korrigieren. Das Gerät zum Ausführen des Verfahrens ist jedoch komplex. Ferner stört eine Ungleichförmigkeit der Verlustcharakteristiken der Übertragung mit einer optischen Faser die Ermittlung einer ausreichenden Korrekturgenauigkeit für eine lange optische Faser, bei ungefähr 1 km. Für die Korrektur einer Verringerung einer optischen Faser mit einer Länge von mehreren hundert Metern kann keine ausreichende Korrekturgenauigkeit erhalten werden, außer dann, wenn der Korrekturwert des Übertragungsverlusts der Faser bekannt ist.

[0008] Ein Korrekturverfahren der Länge einer optischen Faser ohne Verwendung einer anderen Temperaturmesseinrichtung, wie ein Thermoelement, wurde in der JP-A-142049/93 offenbart, die von dem Erfindern der vorliegenden Erfindung angewendet wurde. Die Offenbarung beschreibt ein Thermometer mit einer verbrauchbaren optischen Faser, welches zwei Einheiten eines Infrarot-Thermometers verwendet, wobei jede davon Licht mit einer unterschiedlichen Wellenlänge erfasst. Die echte Temperatur wird unter Verwendung der Differenz der Übertragungsverlustcharakteristik der optischen Faser bei jeder Wellenlänge (ein Korrekturverfahren für eine optische Faserlänge unter Verwendung von zwei Wellenlängen) bestimmt.

[0009] Das Korrekturverfahren gegenüber der Verringerung einer optischen Faserlänge unter Verwendung von zwei Wellenlängen, welches von der JP-A-142049/93 offenbart ist, weist die nachstehend beschriebenen Probleme auf.

(1) die JP-A-142049/93 leitete eine Korrekturgleichung für ein einzelnes Spektrum aus der Wien-Gleichung ab. Gewöhnliche Strahlungsthermometer empfangen jedoch Licht mit Spektren einer bestimmten Bandbreite, die nicht ein einzelnes Spektrum aufweisen. Infolgedessen tritt ein Fehler zwischen der Umwandlungsausgabe, der von dem tatsächlichen Strahlungsthermometer erhalten wird, und der Ausgabe einer Temperaturumwandlungsgleichung, die eine Basis von jeder Korrekturgleichung ist, auf.

(2) Da die Korrekturgleichung, die in der JP-A-142049/93 beschreiben ist, eine Approximation während ihrer Ableitung anwendet, enthält sie einen Approximationsfehler. Selbst bei einem Strahlungsthermometer, welches die Wien-Gleichung als die Umwandlungsgleichung unter einer Bedingung eines ausreichend schmalen Empfangslicht-Spektralbands verwendet, steigt deshalb der Korrekturfehler bei der Berechnung mit der Zunahme des Verbrauchs der optischen Faser während einer tatsächlichen Beobachtung an. Infolgedessen ist die Faserlänge auf 400 m oder weniger begrenzt, um den Korrekturfehler innerhalb von 1°C aufrechtzuerhalten.

[0010] Daher ist es eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein Verfahren und eine Vorrichtung zum Messen einer Temperatur unter Verwendung einer verbrauchbaren optischen Faser bereitzustellen, wobei eine Temperatur eines geschmolzenen Metalls mit hoher Temperatur mit einer hohen Genauigkeit von innerhalb  $\pm 2^\circ\text{C}$  eines Fehlers, bei einer hohen Ansprechrate, kontinuierlich und bei geringen Kosten gemessen wird, selbst wenn eine lange optische Faser, 1 km z. B., verwendet wird.

[0011] Diese Aufgabe wird gelöst durch Verfahren gemäß den Ansprüchen 1 und 2 sowie Vorrichtungen gemäß den Ansprüchen 6 und 7.

[0012] Die erste erfinderische Lösung basiert auf der Erkenntnis, dass die echte Temperatur berechnet wird durch Verwenden von:

ersten Temperatur-Umwandlungs-Parametern ( $A_a$ ,  $B_a$ ), die dem ersten Strahlungsthermometer eigen sind, einem ersten Übertragungsverlustindex ( $D_a$ ) im ersten Wellenband durch das erste Strahlungsthermometer, der ausgegebenen ersten Temperatur ( $T_a$ ) vom ersten Strahlungsthermometer, und zweiten Temperatur-Umwandlungs-Parametern ( $A_b$ ,  $B_b$ ), die dem zweiten Strahlungsthermometer eigen sind, einem zweiten Übertragungsverlustindex ( $D_b$ ) im zweiten Wellenband durch das zweite Strahlungsthermometer und der ausgegebenen zweiten Temperatur ( $T_b$ ) vom zweiten Strahlungsthermometer, wobei die ersten und zweiten Temperatur-Umwandlungs-Parameter ( $A_a$ ,  $B_a$ ;  $A_b$ ,  $B_b$ ) zum Ausdrücken der Beziehung zwischen der ersten und der zweiten Strahlungshelligkeit ( $E_a$ ,  $E_b$ ) und der ausgegebenen ersten und zweiten Strahlungstemperatur ( $T_a$ ,  $T_b$ ) des ersten und des zweiten Strahlungsthermometers ver-

wendet werden gemäß:

$E_a$  ist proportional zu einer exponentiellen Funktion mit dem Exponenten  $-1/(A_a T + B_a)$ , und

$E_b$  ist proportional zu einer exponentiellen Funktion mit dem Exponenten  $-1/(A_b T + B_b)$ ,

wobei

$E_a$ : die erste Strahlungshelligkeit ist,

$E_b$ : die zweite Strahlungshelligkeit ist,

$A_a$ ,  $B_a$ : die ersten empirisch bestimmten Temperatur-Umwandlungs-Parameter sind, die dem ersten Strahlungsthermometer eigen sind,

$A_b$ ,  $B_b$ : die zweiten empirisch bestimmten Temperatur-Umwandlungs-Parameter sind, die dem zweiten Strahlungsthermometer eigen sind.

[0013] Die Temperatur-Umwandlungs-Parameter  $A_a$ ,  $B_a$ ,  $A_b$ ,  $B_b$  gemäß der Erfindung ermöglichen, eine echte Temperatur selbst für einen Fall abzuleiten, dass das Erfassungswellenband nicht als einzelnes Spektrum behandelt werden kann. Somit kann durch Einführen dieser Temperatur-Umwandlungs-Parameter die (nachfolgend definierte) Gleichung (20) abgeleitet werden, die keine Approximation durch ihre Ableitung verwendet und somit den Effekt der Faserlänge eliminiert. Da die Gleichung (20) komplex ist und einige Zeit zur Berechnung benötigt, kann die Berechnung gemäß den Ansprüchen 2 und 3 vereinfacht werden, die den Gleichungen (1) und (2) entsprechen.

[0014] Durch Filtern des ersten und des zweiten Lichtstrahls durch wellenselektive Filter gemäß den Ansprüchen 4–6 kann die Genauigkeit der Berechnungen gemäß den Ansprüchen 2 und 3 weitere erhöht werden.

[0015] Eine zweite Lösung der oben angegebenen Aufgabe basiert auf der Erkenntnis durch Verwenden von:

einen ersten Filterschritt zum Filtern eines ersten Lichtstrahls der zwei Lichtstrahlen durch ein erstes selektives Wellenfilter zum Durchlassen von einem Schmalbandlicht einer Wellenlänge ( $\lambda_a$ ), einen zweiten Filterschritt zum Filtern eines zweiten Lichtstrahls der zwei Lichtstrahlen durch ein zweites selektives Wellenfilter zum Durchlassen von einem Schmalbandlicht einer Wellenlänge ( $\lambda_b$ ), und Berechnen einer wahren bzw. echten Temperatur ( $T$ ) durch Verwenden der folgenden Gleichung:

$$T = (1/D_a \lambda_a - 1/D_b \lambda_b) / (1/D_a \lambda_a T_a - 1/D_b \lambda_b T_b)$$

wobei

$T$ : die echte Temperatur ist

$\lambda_a$ : die Wellenlänge des ersten Strahlungsthermometers ist;

$D_a$ : ein Übertragungsverlustindex der optischen Faser in der ersten Wellenlänge ( $\lambda_a$ ) ist;

$T_a$ : die Temperatur ist, die vom ersten Strahlungsthermometer ausgegeben wird;

$\lambda_b$ : die Wellenlänge des zweiten Strahlungsthermometers ist;

$D_b$ : ein Übertragungsverlustindex der optischen Fa-

ser in der zweiten Wellenlänge ( $\lambda_b$ ) ist; und  $T_b$ : die zweite Temperatur ist, die vom zweiten Strahlungsthermometer ausgegeben wird.

[0016] Die selektiven Schmalband-Wellenfilter emittieren Licht mit jeweils unterschiedlichen Wellenlängen  $\lambda_a$  und  $\lambda_b$  und mit ausreichend schmalen Spektren zu einem Ausmaß, dass das Licht als einzelnes Spektrum in die Photodetektoren gehandhabt werden kann. In diesem Fall ist daher die Wien-Gleichung (5) akzeptierbar. Somit kann der Berechnungsabschnitt die echte Temperatur von geschmolzenem Stahl unter Verwendung der Parameter bestimmen, wie sie in den Ansprüchen 13 oder 15 aufgelistet sind. Da die Korrekturgleichung der Ansprüche 13 oder 15 keine Approximationsberechnung enthält, reduziert sich gemäß der Erfindung der Fehler nach einer Korrektur nahezu auf Null.

#### KURZE BESCHREIBUNG DER ZEICHNUNGEN

[0017] In den Zeichnungen zeigen:

[0018] **Fig. 1** ein Beispiel einer Vorrichtung zum Messen einer Temperatur unter Verwendung einer verbrauchbaren optischen Faser;

[0019] **Fig. 2** eine Beziehung zwischen einem Faserverbrauch und einem Fehler vor der Korrektur

[0020] **Fig. 3** eine Beziehung zwischen einem Faserverbrauch und einem Fehler nach einer Korrektur;

[0021] **Fig. 4** ein anderes Beispiel einer Vorrichtung zum Messen einer Temperatur unter Verwendung einer verbrauchbaren optischen Faser;

[0022] **Fig. 5** eine Beziehung zwischen einem Faserverbrauch und einem Fehler nach einer Korrektur gemäß einem herkömmlichen Stand der Technik;

[0023] **Fig. 6** ein charakteristisches Diagramm, welches einen Übertragungsverlust durch eine optische Quarzfaser für eine Kommunikation anzeigt;

[0024] **Fig. 7** ein anderes charakteristisches Diagramm, welches einen Übertragungsverlust durch eine optische Quarzfaser für eine Kommunikation anzeigt;

[0025] **Fig. 8** ein Beispiel einer Vorrichtung zum Messen einer Temperatur unter Verwendung einer verbrauchbaren optischen Faser der vorliegenden Erfindung;

[0026] **Fig. 9** eine Beziehung zwischen einem Faserverbrauch und einem Fehler gemäß der vorliegenden Erfindung;

[0027] **Fig. 10** ein anderes Beispiel einer Vorrichtung zum Messen einer Temperatur unter Verwendung einer verbrauchbaren optischen Faser der vorliegenden Erfindung;

[0028] **Fig. 11** eine Beziehung zwischen einem Faserverbrauch und einem Fehler nach einer Korrektur gemäß der vorliegenden Erfindung; und

[0029] **Fig. 12** eine andere Beziehung zwischen einem Faserverbrauch und einem Fehler nach einer Korrektur gemäß der vorliegenden Erfindung.

#### BESCHREIBUNG DER AUSFÜHRUNGSFORM

##### AUSFÜHRUNGSFORM - 1

[0030] Für ein Verfahren zum Messen einer Temperatur kann eine verbrauchbare optische Faser verwendet werden. Ein Licht, welches von einer Hochtemperaturflüssigkeit ausgesendet wird, wird an einem Ende der verbrauchbaren optischen Faser empfangen. Das empfangene Licht wird durch die verbrauchbare optische Faser an das andere Ende der verbrauchbaren optischen Faser übertragen. Das empfangene Licht wird durch einen Abzweigungsfilter in zwei Lichtstrahlen aufgeteilt, d. h. einen ersten Lichtstrahl und einen zweiten Lichtstrahl. Von dem ersten Lichtstrahl wird ein Licht eines ersten Wellenbands von einem ersten Strahlungsthermometer erfasst. Das erfasste Licht des ersten Wellenbands wird in eine Temperatur umgewandelt, um eine erste Temperatur auszugeben. Aus dem zweiten Lichtstrahl wird ein Licht eines zweiten Wellenbands durch ein zweites Strahlungsthermometer erfasst. Das erfasste Licht des zweiten Wellenbands wird in eine Temperatur umgewandelt, um eine zweite Temperatur auszugeben. Eine echte Temperatur ( $T$ ) der Hochtemperaturflüssigkeit wird berechnet, indem zuerst zwei Temperaturumwandlungsparameter, die für das erste Strahlungsthermometer eigentümlich sind, ein erster Übertragungsverlustindex in dem ersten Wellenband wird von dem ersten Strahlungsthermometer, und die erste Temperatur von dem ersten Strahlungsthermometer verwendet wird, und indem zweitens zwei Temperaturumwandlungsparameter, die für das zweite Strahlungsthermometer eigentümlich sind, ein zweiter Übertragungsverlustindex in dem zweiten Wellenband durch das zweite Strahlungsthermometer und die zweite Temperatur von dem zweiten Strahlungsthermometer verwendet wird.

[0031] Die echte Temperatur  $T$  wird durch Verwendung der folgenden Gleichung berechnet.

$$T = \frac{[(1/D_a A_a - 1/D_b A_b) - 2 (B_a/D_a A_a^2 T_a - B_b/D_b A_b^2 T_b)]}{[(1/D_a A_a T_a - 1/D_b A_b T_b) - 2 (B_a/D_a A_a^2 T_a^2 - B_b/D_b A_b^2 T_b^2)]} \quad (1)$$

mit  $T$ : die echte Temperatur,

$T_a$ : die erste Temperatur, die von dem ersten Strahlungsthermometer ausgegeben wird,

$A_a, B_a$ : die ersten beiden Parameter, die für das erste Strahlungsthermometer eigentümlich sind,

$D_a$ : der erste Übertragungsverlustindex der optischen Faser durch das erste Strahlungsthermometer;

$T_b$ : die zweite Temperatur, die von dem zweiten Strahlungsthermometer ausgegeben wird,

$A_b, B_b$ : die zweiten zwei Parameter, die für das zweite Strahlungsthermometer eigentümlich sind,

$D_b$ : der zweite Übertragungsverlustindex der optischen Faser durch das zweite Strahlungsthermometer;

[0032] Ferner wird die echte Temperatur  $T$  unter

Verwendung der folgenden Gleichung berechnet

$$T = [(1 - 2B_a/A_a T_a')T_a/D_a A_a - (1 - 2B_b/A_b T_b')T_b/D_b A_b] + [(1 - 2B_a/A_a T_a')D_a A_a - (1 - 2B_b/A_b T_b')D_b A_b] \quad (2)$$

mit T: die echte Temperatur:

$T_a$ : die erste Temperatur, die von dem ersten Strahlungsthermometer ausgegeben wird,

$A_a, B_a$ : die ersten beiden Parameter, die für das erste Strahlungsthermometer eigentümlich sind,

$D_a$ : der erste Übertragungsverlustindex der optischen Faser durch das erste Strahlungsthermometer;

$T_a'$ : ein Approximationswert, der auf Grundlage eines spezifizierten Messbereichs des ersten Strahlungsthermometers eingestellt wird;

$T_b$ : die zweite Temperatur, die von dem zweiten Strahlungsthermometer ausgegeben wird,

$A_b, B_b$ : die zweiten zwei Parameter, die für das zweite Strahlungsthermometer eigentümlich sind,

$D_b$ : der zweite Übertragungsverlustindex der optischen Faser durch das zweite Strahlungsthermometer; und

$T_b'$ : ein Approximationswert, der auf Grundlage eines spezifizierten Messbereichs des zweiten Strahlungsthermometers eingestellt wird.

[0033] Hinsichtlich eines anderen Temperaturmessverfahrens kann ebenfalls eine verbrauchbare optische Faser verwendet werden. Ein Licht, welches von einer Hochtemperaturflüssigkeit emittiert wird, wird an einem Ende der verbrauchbaren optischen Faser empfangen. Das empfangene Licht wird durch die verbrauchbare optische Faser an das andere Ende der verbrauchbaren optischen Faser übertragen. Das empfangene Licht wird durch ein Abzweigungsfilter in zwei Lichtstrahlen aufgeteilt, d. h. einen ersten Lichtstrahl und einen zweiten Lichtstrahl. Der erste Lichtstrahl wird gefiltert, um ein erstes Schmalbandlicht einer ersten Wellenlänge  $\lambda_a$  durchzulassen. Das Licht des ersten Schmalbands der ersten Wellenlänge  $\lambda_a$  wird von einem ersten Strahlungsthermometer empfangen und erfasst. Das erfasste Licht des ersten Schmalbands der ersten Wellenlänge  $\lambda_a$  wird in eine Temperatur umgewandelt, um eine erste Temperatur  $T_a$  auszugeben. Der zweite Lichtstrahl wird gefiltert, um ein Licht eines zweiten Schmalbands einer zweiten Wellenlänge  $\lambda_b$  durchzulassen. Das Licht mit dem zweiten Schmalband der zweiten Wellenlänge  $\lambda_b$  wird von einem zweiten Strahlungsthermometer empfangen und erfasst. Das erfasste zweite Schmalbandlicht der zweiten Wellenlänge  $\lambda_b$  wird in eine Temperatur umgewandelt, um eine zweite Temperatur  $T_b$  auszugeben. Eine echte Temperatur T wird durch Verwendung der folgenden Gleichung berechnet:

$$T = (1/D_a \lambda_a - 1/D_b \lambda_b) - (1/D_a \lambda_a T_a - 1/D_b \lambda_b T_b) \quad (3)$$

mit T: die echte Temperatur,

$\lambda_a$ : die erste Wellenlänge des ersten Strahlungsthermometers;

$D_a$ : ein Übertragungsverlustindex der optischen Faser in der ersten Wellenlänge ( $\lambda_a$ );

$T_a$ : die erste Temperatur, die von dem ersten Strahlungsthermometer ausgegeben wird;

$\lambda_b$ : die zweite Wellenlänge des ersten Strahlungsthermometers;

$D_b$ : ein Übertragungsverlustindex der optischen Faser in der zweiten Wellenlänge ( $\lambda_b$ ); und

$T_b$ : die zweite Temperatur, die von dem zweiten Strahlungsthermometer ausgegeben wird.

#### BEISPIEL - 1

[0034] Zunächst werden die Empfindlichkeitscharakteristiken eines Strahlungsthermometers unter Berücksichtigung der Dämpfung der optischen Faserübertragung nachstehend beschreiben. Die spektrale Strahlungshelligkeit  $L(\lambda, T)$  eines schwarzen Körpers wird mit Gleichung (4) auf Grundlage des Plank'schen Gesetzes ausgedrückt.

$$L(\lambda, T) = 2C_1 / \{\lambda^5 \times (\text{EXP}(C_2/\lambda T) - 1)\} \quad (4)$$

mit  $\lambda$ : Wellenlänge

T: absolute Temperatur (K)

$C_1$ :  $5,9548 \times 10^{-7} \text{ W} \times \text{m}^2$

$C_2$ :  $0,014388 \text{ m} \cdot \text{K}$

[0035] Die Gleichung (4) wird durch die Wien-Gleichung (5) innerhalb eines Bereichs von  $\lambda T \leq \lambda_m T$  approximiert ( $\lambda_m T = 2,8978 \times 10^{-3} \text{ m} \cdot \text{K}$ ).

$$L(\lambda, T) = 2C_1 \times \text{EXP}(-C_2/\lambda T) / \lambda^5 \quad (5)$$

[0036] In einem gewöhnlichen Strahlungsthermometer werden die Helligkeitssignale in eine Temperatur unter Verwendung einer Approximationsgleichung (6) umgewandelt, die Koeffizienten A, B und C verwendet, die durch Experimente in Übereinstimmung mit JIS (siehe "New temperature measurement", S. 256, Instrumentation and Automatic Control Academy) bestimmt werden.

$$L(\lambda, T) = C \times \text{EXP}\{-C_2/(AT + B)\} \quad (6)$$

[0037] **Fig. 1** zeigt ein Beispiel einer Vorrichtung zum Messen einer Temperatur unter Verwendung einer verbrauchbaren optischen Faser. In **Fig. 1** bezeichnet das Bezugszeichen eine optische Faser, die mit einer Metallröhre bedeckt ist, **2** bezeichnet einen optischen Verbinder, **3** bezeichnet ein Thermometer mit einer verbrauchbaren optischen Faser, das mit den Einrichtungen **4–9** versehen ist, die nachstehend beschreiben werden. Das Bezugszeichen **4** ist ein Abzweigungsfilter, wie ein Strahlteiler, der ein Licht, welches von einem Ende der optischen Faser **1**, die mit der metallischen Röhre bedeckt ist, über den optischen Verbinder **2** ankommt, verteilt, und der die verteilten spektralen Gruppen an jeden von zwei Fotodetektoren **5** und **6** emittiert. Der Fotodetektor **5** empfängt ein einfallendes Licht und erfasst ein spezi-

fiziertes Spektrallichtband, welches um die Wellenlänge  $\lambda_a$  herum zentriert ist (z. B.,  $\lambda_a = 0,85 \mu\text{m}$ ). Der Fotodetektor **6** empfängt ein einfallendes Licht und erfasst ein spezifiziertes Spektrallichtband, welches um die Wellenlänge  $\lambda_b$  herum zentriert ist (z. B.,  $\lambda_b = 1,0 \mu\text{m}$ ). Demzufolge können die Fotodetektoren **5** und **6** durch ein wellenband-selektives Filter, eine Fotodiode (eine Si-Fotodiode oder eine Ge-Fotodiode können in Abhängigkeit von dem Empfangs- und Erfassungslichtband verwendet werden), und einem Signalverstärker z. B. gebildet werden.

[0038] Das Bezugszeichen **7** ist eine Temperaturwandler, der ein erfasstes Signal an den Fotodetektor **5** in eine Temperatur umwandelt und eine Anzeigetemperatur  $T_a$  erzeugt. Das Bezugszeichen **8** ist ein Temperaturwandler, der ein erfasstes Signal an dem Fotodetektor **6** in eine Temperatur umwandelt und eine Anzeigetemperatur  $T_b$  erzeugt. Der Fotodetektor **5** und der Temperaturwandler **7** bilden ein Nr. 1 monochromatisches Strahlungsthermometer und der Fotodetektor **6** und der Temperaturwandler **8** bilden ein Nr. 2 monochromatisches Strahlungsthermometer.

[0039] Die Nr. 1 und Nr. 2 monochromatischen Strahlungsthermometer in **Fig. 1** empfangen jeweils ein getrenntes spektrales Licht mit einer bestimmten Bandbreite, die nicht ein einzelnes Spektrallicht empfängt, und verwenden die Gleichung (3) und die eigentümlichen Parameter  $A_a, B_a, C_a$  bzw.  $A_b, B_b, C_b$ .

[0040] Das Bezugszeichen **9** bezeichnet einen Berechnungsabschnitt zum Berechnen einer echten Temperatur. Der Berechnungsabschnitt **9** berechnet die echte Temperatur  $T$  des geschmolzenen Stahls **15** über eine Korrekturberechnung auf Grundlage einer spezifischen Berechnungsgleichung, die nachstehend beschrieben wird, durch Verwendung der zwei Parameter  $A_a, B_a$  für eine Temperaturumwandlung, die für das Nr. 1 monochromatische Strahlungsthermometer eigentümlich ist, eines Temperaturverlustindex  $D_a$  eines optischen Filters innerhalb des Lichtempfangs- und Erfassungswellenbands und der Anzeigetemperatur  $T_a$  bezüglich des Nr. 1 monochromatischen Strahlungsthermometers und durch Verwenden der zwei Parameter  $A_b, B_b$  für eine Temperaturumwandlung, die für das Nr. 2 monochromatische Strahlungsthermometer eigentümlich ist, eines Temperaturverlustindex  $D_b$  eines optischen Filters innerhalb des Lichtempfangs- und Erfassungswellenbands, und der Anzeigetemperatur  $T_b$  bezüglich des Nr. 2 monochromatischen Strahlungsthermometers.

[0041] Da die Nr. 1 und Nr. 2 monochromatischen Strahlungsthermometer in **Fig. 1** die Temperaturumwandlung von einem Spektrallicht eines endlichen Bands ausführen, passt die Korrekturgleichung, die von dem Korrekturabschnitt verwendet wird, auf die Situation.

[0042] Das Bezugszeichen **12** bezeichnet eine Zuführungstrommel für die optische Faser, **13** bezeichnet eine Zuführungsrolle für die optische Faser, **14** bezeichnet eine Form, **15** bezeichnet ein geschmol-

zenes Stahl, **16** bezeichnet eine Eintauchdüse und **17** bezeichnet Pulver.

[0043] Die optische Faser **1**, die mit einer metallischen Röhre bedeckt ist, ist eine Quarzfaser für eine Kommunikationsverbindung. Durch Anwenden einer metallischen Röhre, beispielsweise einer SUS-Röhre, als das Abdeckmaterial, erhöht die optische Faser **1**, die mit der Metallröhre bedeckt ist, ihre mechanische Festigkeit und ermöglicht das Eintauchen in den geschmolzenen Stahl.

[0044] Da die optische Faser **1**, die mit der metallischen Röhre bedeckt ist, die in den geschmolzenen Stahl **15** eingetaucht ist, sich über der Zeit in der Hochtemperaturumgebung verbraucht, wird ein Mechanismus für die mit der metallischen Röhre bedeckte optische Faser **1**, die um die Zuführungstrommel **12** für die optische Faser herumgewickelt ist, bereitgestellt, um sukzessive abgewickelt zu werden, um die verbrauchte Länge auszugleichen. Das Thermometer, welches mit dem Mechanismus versehen ist, wird als Thermometer mit einer verbrauchbaren optischen Faser bezeichnet.

[0045] Gemäß dem Thermometer mit der verbrauchbaren optischen Faser in **Fig. 1** wird das Infrarotlicht, welches von der Spitze der optischen Faser eindringt, während des Übertragungsdurchgangs gedämpft, bis es von dem anderen Ende der optischen Faser aufgrund des Übertragungsverlusts emittiert wird. Die Dämpfungscharakteristiken der optischen Faser sind eine Funktion der Wellenlänge. Obwohl die gegenwärtig verfügbare optische Quarzfaser eine wesentliche Verbesserung in ihrem Betriebsverhalten zeigt, ergibt der Übertragungsverlust normalerweise 2 bis 3 dB/km für eine normale Wellenlänge von  $0,9 \mu\text{m}$  und 0,2–0,5 dB/km für eine Wellenlänge von  $1,5 \mu\text{m}$ . Die **Fig. 6** und die **Fig. 7** zeigen einige veröffentlichte beobachtete Übertragungsverluste der optischen Faser.

[0046] **Fig. 6** ist ein charakteristischer Graph, der einen Übertragungsverlust einer optischen Quarzkommunikationsfaser zeigt (Shimada und Hayashida, "Optical fiber cable", S. 52, Ohm Co., Ltd. (1987)). **Fig. 7** ist ebenfalls ein charakteristischer Graph, der einen Übertragungsverlust einer optischen Quarzkommunikationsfaser zeigt (Shimada und Hayashida, "Optical fiber cable", S. 56, Ohm Co., Ltd. (1987)).

[0047] Beide Figuren schlagen vor, dass der Ausgang des Thermometers mit der verbrauchbaren optischen Faser von der Länge der Faser beeinflusst wird. Gemäss eines Experiments auf einem Schwarzkörperofen unter Verwendung eines monochromatischen Strahlungsthermometers mit  $0,9 \mu\text{m}$  Wellenlänge und unter Verwendung einer GI-Faser (Kerndurchmesser/Ummantelungsdurchmesser betrug  $50/125 \mu\text{m}$ ) wurde ungefähr eine  $+10^\circ\text{C}$  höhere Anzeige bei einer Länge von 10 m der Faser im Vergleich mit der Referenztemperatur einer Länge von 100 m beobachtet.

[0048] Demzufolge wurde das Thermometer mit der

verbrauchbaren optischen Faser entwickelt, um einen ursprünglichen Anzeigewert selbst dann aufrechtzuerhalten, wenn die Faserlänge kurz wird, und um eine Bestimmung einer Temperatur mit hoher Genauigkeit zu ermöglichen.

[0049] Zum Beseitigen des Effekts einer verringerten Länge einer optischen Faser verwendet das Thermometer mit der verbrauchbaren optischen Faser der **Fig. 1** zwei monochromatische Strahlungsthermometer, die eine endliche (finite) Bandbreite von zwei verschiedenen Wellenlängen zueinander bestimmen. Dieses System verwendet positiv das Prinzip, das der Übertragungsverlust der optischen Faser sich bei jeder Wellenlänge unterscheidet.

[0050] Gemäß des Systems wird die optische Faser als ein Wellenleiter verwendet, der ein Spektrallicht empfängt, welches von einem geschmolzenen Stahl **15** an einem Ende der optischen Faser **1**, die mit einer metallischen Röhre bedeckt ist, emittiert wird. An dem anderen Ende der optischen Faser **1** wird das übertragene Licht in zwei Spektralgruppen durch ein Abzweigungsfilter **4** verteilt. Jede der verteilten Spektralgruppen wird an jeden der Nr. 1 und Nr. 2 monochromatischen Strahlungsthermometer geführt. Die Strahlungsthermometer empfangen und erfassen die endliche Bandbreite des Spektrallichts, welches auf einer unterschiedlichen Wellenlänge von  $\lambda_a$  bzw.  $\lambda_b$  zentriert ist und wandeln das erfasste Signal in eine Temperatur um, um die Anzeigetemperatur  $T_a$  bzw.  $T_b$  zu erzeugen.

[0051] Die Prozedur zum Bestimmen der echten Temperatur  $T$  aus diesen zwei Anzeigetemperaturen  $T_a$  und  $T_b$  durch die Korrekturberechnung in dem Berechnungsabschnitt **9** wird nachstehend beschrieben.

[0052] Die Anzeigewerte von zwei monochromatischen Strahlungsthermometern, wobei diese Werte durch den Standardwert kalibriert sind, ergeben eine Differenz, wenn die Faserlänge kurz ist. Die Differenz zwischen den zwei Werten wird verwendet, um die echte Temperatur zu bestimmen. Das Berechnungsverfahren ist wie folgt:

(1) Eine Korrekturgleichung wird für den Fall abgeleitet, bei dem die Beziehung zwischen der Strahlungshelligkeit, die von dem Infrarot-Strahlungsthermometer bestimmt wird, und der Temperatur durch die Wien-Gleichung (5) bestimmt wird. Wenn das Ansprechwellenband des Lichtdetektors des Infrarot-Strahlungsthermometers ausreichend schmal ist und wenn das Ansprechwellenband als ein einzelnes Spektrum behandelt werden kann, dann ist die Gleichung anwendbar. Die effektive Wellenlänge von jedem monochromatischen Strahlungsthermometer wird als  $\lambda_a$  und  $\lambda_b$  ( $\mu\text{m}$ ) genommen.

[0053] Das Thermometer wird kalibriert, wenn die Faser eine Standardlänge aufweist. Die Strahlungshelligkeit des Lichts, welches von jedem der monochromatischen Strahlungsthermometer empfangen

wird, wird als  $E_a$  und  $E_b$  genommen. Die folgenden Wien-Gleichungen (5a) und (5b) werden abgeleitet.

$$E_a = 2C_a' \times \text{EXP}(-C_2/\lambda_a T) / \lambda_a^5 \quad (5a)$$

$$E_b = 2C_b' \times \text{EXP}(-C_2/\lambda_b T) / \lambda_b^5 \quad (5b)$$

wobei  $C_a'$  und  $C_b'$  Konstanten sind, die für jedes Strahlungsthermometer spezifisch sind.

[0054] Die Dämpfung, die durch den Lichtübertragungsverlust durch eine optische Faser mit einer Länge von  $X$  verursacht wird, wird allgemein durch die folgende Gleichung ausgedrückt.

$$R(X) = \text{EXP}(-DX)$$

[0055] Wenn deshalb die Länge der optische Faser um  $X$  von der Standardlänge abgenommen (verbraucht worden) ist, dann steigt die Größe des Empfangslichts um den gleichen Betrag zu der gedämpften Größe an. Somit wird der Helligkeitsausgang  $E_a$  und  $E_b$  des monochromatischen Strahlungsthermometers an diesem Punkt durch die Gleichung (7) bzw. (8) beschrieben.

$$E_a = 2C_a' \times \text{EXP}(D_a X) \times \text{EXP}(-C_2/\lambda_a T) / \lambda_a^5 \quad (7)$$

$$E_b = 2C_b' \times \text{EXP}(D_b X) \times \text{EXP}(-C_2/\lambda_b T) / \lambda_b^5 \quad (8)$$

[0056] Wenn die Temperaturanzeigewerte bei dem Verbrauch von  $X$  der optischen Faser als  $T_a$  und  $T_b$  genommen werden, dann werden  $E_a$  und  $E_b$  durch die Gleichungen (9) und (10) ausgedrückt.

$$E_a = 2C_a' \times \text{EXP}(-C_2/\lambda_a T_a) / \lambda_a^5 \quad (9)$$

$$E_b = 2C_b' \times \text{EXP}(-C_2/\lambda_b T_b) / \lambda_b^5 \quad (10)$$

[0057] Der Ausdruck  $E_a$  und  $E_b$  wird aus den Gleichungen (7), (8), (9) und (10) beseitigt und das Ergebnis wird durch eine logarithmische Korrelation umgeordnet, und die Gleichungen (11) und (12) werden abgeleitet.

$$D_a X - C_2/\lambda_a T = -C_2/\lambda_a T_a \quad (11)$$

$$D_b X - C_2/\lambda_b T = -C_2/\lambda_b T_b \quad (12)$$

[0058] Als nächstes wird  $X$  aus den die Gleichungen (11) und (12) beseitigt und die Gleichungen werden in Ausdrücken der echten Temperatur  $T$  ausgedrückt, um die Gleichung (3) zu ermitteln.

$$T = (1/D_a \lambda_a - 1/D_b \lambda_b) / (1/D_a \lambda_a T_a - 1/D_b \lambda_b T_b) \quad (3)$$

[0059] Die Gleichung (3) verwendete eine Approximation während ihrer Ableitung nicht, so dass sie den Effekt der Faserlänge beseitigt oder einen Fehler beseitigt und eine Bestimmung der echten Temperatur  $T$  ermöglicht, in soweit, als die Beziehung zwischen

der Strahlungshelligkeit, die von dem Infrarot-Strahlungsthermometer erfasst wurde, und der echten Temperatur durch die Wien-Gleichung ausgedrückt wird.

(2) Der nächste Schritt besteht darin, eine Korrekturgleichung für den Fall abzuleiten, dass das Erfassungswellenband eines Infrarot-Strahlungsthermometers eine finite Breite aufweist, und dass das Erfassungswellenband nicht als ein einzelnes Spektrum behandelt werden kann. In diesem Fall wird die Beziehung zwischen der Strahlungshelligkeit und der Temperatur durch die Gleichung (6) unter Verwendung der A, B, und C Konstanten ausgedrückt.

[0060] Das Thermometer wird bei der Standardfaserlänge kalibriert und die Strahlungshelligkeit des Lichts, welches von dem monochromatischen Strahlungsthermometer an dem Punkt empfangen wird, wird als  $E_a$  und  $E_b$  genommen. Dann werden die Konstanten A, B und C von jedem der Strahlungs-Thermometer  $A_a$ ,  $B_a$ ,  $C_a$ ,  $A_b$ ,  $B_b$  und  $C_b$  verwendet, um die Beziehung mit der echten Temperatur T in den Gleichungen (6a) und (6b) auszudrücken.

$$E_a = C_a \times \exp\{-C_2/(A_a T + B_a)\} \quad (6a)$$

$$E_b = C_b \times \exp\{-C_2/(A_b T + B_b)\} \quad (6b)$$

[0061] Die Helligkeitsausgänge  $E_a$  und  $E_b$  des monochromatischen Strahlungsthermometer bei der Verringerung (bei dem Verbrauch) der Länge X von der Standardlänge der optischen Faser werden durch die Gleichungen (13) bzw. (14) ausgedrückt.

$$E_a = C_a \times \exp(D_a X) \times \exp\{-C_2/(A_a T + B_a)\} \quad (13)$$

$$E_b = C_b \times \exp(D_b X) \times \exp\{-C_2/(A_b T + B_b)\} \quad (14)$$

[0062] Wenn die Temperaturanzeigewerte als  $T_a$  und  $T_b$  genommen wird, dann kann der Ausdruck  $E_a$  und  $E_b$  als die Gleichungen (15) und (16) dargestellt werden.

$$E_a = C_a \times \exp\{-C_2/(A_a T_a + B_a)\} \quad (15)$$

$$E_b = C_b \times \exp\{-C_2/(A_b T_b + B_b)\} \quad (16)$$

[0063] Dann werden  $E_a$  und  $E_b$  aus den Gleichungen (13), (14), (15) und (16) beseitigt und das Ergebnis wird durch eine logarithmische Beziehung umgeordnet, so dass die Gleichungen (17) und (18) abgeleitet werden.

$$D_a X - C_2/(\lambda_a T + B_a) = -C_2/(\lambda_a T_a + B_a) \quad (17)$$

$$D_b X - C_2/(\lambda_b T + B_b) = -C_2/(\lambda_b T_b + B_b) \quad (18)$$

[0064] Wenn X aus den Gleichungen (17) und (18) beseitigt wird, wird die Gleichung (19) abgeleitet.

$$1/D_a(\lambda_a T + B_a) - 1/D_b(\lambda_b T + B_b) = 1/D_a(\lambda_a T_a + B_a) - 1/D_b(\lambda_b T_b + B_b) \quad (19)$$

[0065] Die Gleichung (19) wird für die echte Temperatur T gelöst um die Gleichung (20) zu ergeben.

$$T = \frac{-(A_a B_b + A_b B_a) \{-D_a C_2/(A_b T_b + B_b) + D_b C_2/(A_a T_a + B_a) + (A_b D_b - A_a D_a) C_2 + [(A_a B_b - A_b B_a)^2 \{-D_a C_2/(A_b T_b + B_b) + D_b C_2/(A_a T_a + B_a)\}^2 + 2 C_2 (A_a B_b - A_b B_a) (A_a D_a + A_b D_b) \{-D_a C_2/(A_b T_b + B_b) + D_b C_2/(A_a T_a + B_a)\} + (A_a D_a - A_b D_b)^2 C_2^2\}^{1/2}}{[2 A_a A_b \{-D_a C_2/(A_b T_b + B_b) + D_b C_2/(A_a T_a + B_a)\}]} \quad (20)$$

[0066] Die Gleichung (20) verwendete während ihrer Ableitung eine Approximation nicht, so dass sie den Effekt der Faserlänge beseitigt, oder einen Fehler beseitigt und eine Bestimmung der echten Temperatur T ermöglicht, insoweit, als die Beziehung zwischen der Strahlungshelligkeit, die von einem Infrarotstrahlungsthermometer erfasst wurde und der echten Temperatur mit der Gleichung (6) ausgedrückt wird.

[0067] Da die Gleichung (20) komplex ist und Zeit für eine Berechnung benötigt wird, wird eine Approximationsgleichung, die eine einfache Korrektur ausführt, abgeleitet. Wenn man sich auf die Tatsache konzentriert, dass die Beziehung  $AT \gg B$  allgemein in der Nähe von 1500°C von T und 1 bis 2  $\mu m$  von  $\lambda$  auftritt, dann kann der Ausdruck  $[1/(AT + B)]$  als ungefähr gleich zu  $[1/(AT - B/(AT)^2)]$  genommen werden. Wenn die Approximation verwendet wird, wird die Gleichung (19) als die Gleichung (21) ausgedrückt.

$$(1/T_a - 1/T)/D_a A_a - B_a(1/T_a^2 - 1/T^2)/D_a A_a = (1/T_b - 1/T)/D_b A_b - B_b(1/T_b^2 - 1/T^2)/D_b A_b \quad (21)$$

[0068] Ferner, unter Berücksichtigung der Beziehungen  $[T_a - T \ll T_a]$  und  $[T_b - T \ll T_b]$ , ist der Wert von  $(1/T_a + 1/T)$  ungefähr gleich zu  $2/T_a$  und der Wert  $(1/T_b + 1/T)$  ist ungefähr gleich zu  $2/T_b$ . Durch Verwendung dieser Approximationsbeziehungen wird die Gleichung (21) als Gleichung (22) beschrieben.

$$(1/T_a - 1/T)(1 - 2B_a/A_a T_a)/D_a A_a = (1/T_b - 1/T)(1 - 2B_b/A_b T_b)/D_b A_b \quad (22)$$

[0069] Wenn die Gleichung (22) für die echte Temperatur T gelöst wird, dann wird die Gleichung (1) abgeleitet.

$$T = \frac{\{(1/D_a A_a - 1/D_b A_b) - 2(B_a/D_a A_a^2 T_a - B_b/D_b A_b^2 T_b) + \{(1/D_a A_a T_a - 1/D_b A_b T_b) - 2(B_a/D_a A_a^2 T_a^2 - B_b/D_b A_b^2 T_b^2)\}^{1/2}}{(1)}$$

[0070] Die echte Temperatur T nach Beseitigen des Effekts einer optischen Faserlänge X wird durch Berechnung aus der Gleichung (20) oder (1) unter Verwendung der Anzeigewerte  $T_q$  und  $T_b$  der zwei Infrarot-Strahlungsthermometer, jeweils eines Paares von Parametern  $A_a$  und  $B_a$  und  $A_b$  und  $B_b$  von den Para-



metern A, B und C, die die Charakteristiken jedes Strahlungsthermometers darstellen, und der Übertragungsverlustindizes  $D_a$  und  $D_b$  an der Messungswellenlänge von jedem Strahlungsthermometer bestimmt.

[0071] Für den Fall, dass die Daten in digitale Signale umgewandelt werden, und dass der Digitalsignalprozess (DSP) und die Zentralverarbeitungseinheit (CPU) eine digitale Berechnung ausführen, kann die Gleichung (1) verwendet werden, wie sie ist. Jedoch ist in einer analogen Schaltung, die die Gleichung (1) berechnet, die Gleichung zu komplex.

[0072] In dieser Hinsicht wird zur Vereinfachung der Berechnung durch eine analoge Schaltung die folgende Approximation weiter eingeführt.

[0073] Wenn die Beziehungen, dass  $\{1/T_a - 1/T\}$  ungefähr gleich zu  $\{(T - T_a)/T^2\}$  ist, und dass  $\{1/T_b - 1/T\}$  ungefähr gleich zu  $\{(T - T_b)/T^2\}$  ist, auf die Gleichung (22) angewendet werden, dann wird die Gleichung (22a) abgeleitet.

$$(1 - 2B_a/A_a T_a) (T - T_a) / D_a A_a = (1 - 2B_b/A_b T_b) (T - T_b) / D_b A_b \quad (22a)$$

[0074] Die Gleichung (22a) wird für die echte Temperatur T gelöst und die Gleichung (23) wird abgeleitet.

$$T = \{(1 - 2B_a/A_a T_a) T_a / D_a A_a - (1 - 2B_b/A_b T_b) / D_b A_b\} \{ (1 - 2B_a/A_a T_a) / D_a A_a - (1 - 2B_b/A_b T_b) / D_b A_b \} \quad (23)$$

[0075] Ferner wird der Fall studiert, bei dem der Temperaturbereich des Ziels (des Targets) in Einheiten von  $T_a$  und  $T_b$  bekannt ist, und bei dem die Approximationswerte der Anzeigetemperaturen  $T_a'$  und  $T_b'$  bekannt sind. Wenn z. B. von dem Temperaturbereich eines Ziels bekannt ist, dass er einen Bereich von 1400 bis 1600°C aufweist, kann der Mittelwert des Temperaturbereichs, 1500°C als ein Approximationswert eingestellt werden.

[0076] In diesem Fall kann die Gleichung (23) durch die Gleichung (2) approximiert werden.

$$T = \{(1 - 2B_a/A_a T_a') T_a / D_a A_a - (1 - 2B_b/A_b T_b') T_b / D_b A_b\} \{ (1 - 2B_a/A_a T_a') / D_a A_a - (1 - 2B_b/A_b T_b') / D_b A_b \} \quad (2)$$

[0077] Da die Gleichung (2) für  $T_a$  und  $T_b$  linear ist, sind ihre Koeffizienten bekannt und werden vorher bestimmt, und die Berechnung der Gleichung (2) kann selbst mit einer einfachen analogen Schaltung reproduziert werden.

[0078] **Fig. 2** zeigt einen Anzeigefehler, der durch den Verbrauch einer Faserlänge eines Strahlungsthermometers bei einer Temperaturmessung verursacht wird. Die Bedingungen für die Beobachtung sind nachstehend angegeben.

- (1) Nr. 1 monochromatisches Strahlungsthermometer Si Detektor  
(endliche Bandbreite um die Mittenwellenlänge  $\lambda_a$  = 0,85  $\mu$ m herum)

- Nr. 2 monochromatisches Strahlungsthermometer Si Detektor  
(endliche Bandbreite um die Mittenwellenlänge  $\lambda_b$  = 1,0  $\mu$ m herum)
- (2) optische Faser für eine Kommunikation, GI 50/125,  
Übertragungsverlust 2,65 dB/km ( $\lambda_a$  = 0,85  $\mu$ m)  
Übertragungsverlust 1,8 dB/km ( $\lambda_b$  = 1,0  $\mu$ m)  
Abdeckröhre: SUS-Röhre, äußerer Durchmesser 1,2 mm
- (3) Jedes Thermometer weist eine endliche spektrale Bandbreite auf. Die Parameter, die die Charakteristiken darstellen, sind nachstehend angeführt.

[0079] Nr. 1 monochromatisches Strahlungsthermometer:

$$A_a = 8,41 \times 10^{-7}$$

$$B_a = 2,98 \times 10^{-5}$$

[0080] Nr. 2 monochromatisches Strahlungsthermometer:

$$A_b = 9,88 \times 10^{-7}$$

$$B_b = 1,60 \times 10^{-5}$$

[0081] **Fig. 2** zeigt den Fehler des Anzeigewerts von jedem monochromatischen Infrarot-Strahlungsthermometers für den Fall, dass die Messtemperatur T 1500°C ist und das die Faserverbrauchslänge X (km) ist. Der Fehler des Nr. 1 Strahlungsthermometers (Wellenlänge 0,85  $\mu$ m) ist mit einer gestrichelten Linie dargestellt und der Fehler des Nr. Strahlungsthermometers (Wellenlänge 1,0  $\mu$ m) ist mit einer durchgezogenen Linie dargestellt.

[0082] Die **Fig. 2** lässt erkennen, dass angezeigte Werte auf den zwei monochromatische Strahlungsthermometern einen Anzeigefehler von ungefähr 100°C bei dem Faserverbrauch von 1 km und von ungefähr 10°C bei dem Faserverbrauch von 100 m ergeben.

[0083] **Fig. 3** zeigt ein Beispiel einer Korrektur des Fehlers, der in **Fig. 2** beobachtet wird, unter Verwendung eines in **Fig. 1** gezeigten Thermometers mit einer verbrauchbaren optischen Faser.

[0084] **Fig. 3** gibt einen Fehler an, nachdem eine Korrekturberechnung auf die beobachteten Werte in **Fig. 2** unter Verwendung der Korrekturgleichungen (1), (2) bzw. (3) angewendet wurde.

[0085] Die Kettenlinie in **Fig. 3** ist für den Fall, dass das Erfassungswellenband des Strahlungsthermometers ausreichend schmal ist und das Licht als ein einzelnes Spektrum behandelt wird und dass die Gleichung (3) angewendet wird. In diesem Fall kann der Fehler innerhalb von 2°C nach einer Korrektur nicht erhalten werden, außer wenn der Faserverbrauch bei oder kleiner als 200 m ist.

[0086] Der Grund für das Auftreten des Fehlers ist wie folgt: jedes der Nr. 1 und Nr. 2 Strahlungsthermometer in **Fig. 1** empfängt ein spektrales Licht mit einer endlichen Bandbreite und führt eine Temperaturumwandlung unter Verwendung einer Temperaturumwandlungsgleichung aus, die eigentümliche Pa-

parameter  $A_a$ ,  $B_a$ ,  $C_a$  und  $A_b$ ,  $B_b$  und  $C_b$  umfassen. Trotzdem verwendet die Korrekturgleichung (3) die Wien-Gleichung unter der Annahme, dass das Strahlungsthermometer ein einzelnes Spektrallicht empfängt. Infolgedessen tritt eine Fehlübereinstimmung zwischen der Temperaturumwandlung und der Korrektur auf.

[0087] Andererseits tritt ein Fehler nach der Korrektur unter Verwendung der Korrekturgleichungen (1) und (2), die die Parameter A, B und C umfassen, unter Berücksichtigung der endlichen Spektralbandbreite auf. Der Fehler für die Gleichung (1) und (2) ist mit einer gestrichelten Linie bzw. einer durchgezogenen Linie gezeigt. Beide Fälle zeigen den Approximationsfehler von innerhalb von  $2^\circ\text{C}$  bei dem Faserverbrauch von 800 m oder weniger, wobei der Fehler in einem zufriedenstellenden Bereich für eine praktische Anwendung ist.

[0088] Das Folgende ist ein Beispiel eines Aufbaus eines Thermometers mit einer verbrauchbaren optischen Faser, was zu der Korrekturgleichung (3) passt.

[0089] **Fig. 4** gibt ein Beispiel 2 eines Aufbaus des Thermometers mit einer verbrauchbaren optischen Faser.

[0090] Es gibt Unterschiede zwischen dem Aufbau der **Fig. 4** und der **Fig. 1**. Der Aufbau der **Fig. 4** fügt die Schmalbandwellenselektionsfilter **10** und **11** zu dem Thermometer **3A** mit der verbrauchbaren optischen Faser hinzu und die Temperaturwandler **7** und **8** werden lediglich auf die Temperaturwandler **7A** und **8A** geändert, und der Berechnungsabschnitt wird lediglich auf den Berechnungsabschnitt **9A** geändert.

[0091] Beide Schmalband-Wellenselektionsfilter **10** und **11** sind vor den zwei Photodetektoren **5** und **6** positioniert. Diese Schmalband-Wellenselektionsfilter **10** und **11** emittieren Lichter, die jeweils unterschiedliche Wellenlängen  $\lambda_a$  bzw.  $\lambda_b$  aufweisen und ausreichend schmale Spektren zu einem Grad aufweisen, dass das Licht als ein einzelnes Spektrum in die Photodetektoren **5** bzw. **6** hineinbehandelt werden können.

[0092] Für diesen Fall ist deshalb die Wien-Gleichung (5) akzeptabel. Die Temperaturwandler **7A** und **8A** führen eine Temperaturumwandlung auf Grundlage der Wien-Gleichung aus und erzeugen die Anzeigetemperatur  $T_a$  bzw.  $T_b$ .

[0093] Der Berechnungsabschnitt **9A** in **Fig. 4** kann die echte Temperatur  $T$  des geschmolzenen Stahls **15** unter Verwendung der Korrekturgleichung (3) durch Anwenden der Anzeigetemperaturen  $T_a$  und  $T_b$ , die aus den zwei Strahlungsthermometern erzeugt werden, der Empfangs- und Erfassungswellenlänge  $\lambda_a$  und  $\lambda_b$ , und des Übertragungsverlusts  $D_a$  und  $D_b$  der optischen Faser bei der Wellenlänge  $\lambda_a$  und  $\lambda_b$  jeweils berechnen.

[0094] Da die Korrekturgleichung (3) keine Approximationsberechnung umfasst, reduziert sich der Fehler nach einer Korrektur auf fast Null.

[0095] Um den Effekt der Korrekturgleichung (3)

gültig zu machen, zeigt **Fig. 5** einen Fehler nach einer Korrektur unter Verwendung der Korrekturgleichung, die in der JP-A-142049/93 beschrieben ist.

[0096] **Fig. 5** gibt ein Ergebnis einer herkömmlichen Korrekturberechnung, die in der JP-A-142049/93 beschrieben wurde, wo der Fehler  $2^\circ\text{C}$  übersteigt, wenn der Faserverbrauch 600 m übersteigt. Der Fehler rührt daher, dass die Korrekturgleichung eine Approximationsberechnung umfasst. Der Fehler, der von einer derartigen Approximationsberechnung eingeführt wird, kann durch Anwendung von Gleichung (3) vollständig beseitigt werden.

[0097] Wie voranstehend beschrieben, empfängt ein Thermometer mit einer verbrauchbaren optischen Faser ein Strahlungslicht, welches von einem Hochtemperatur-Target emittiert wird, an einem Ende der optischen Faser und überträgt das empfangene Strahlungslicht dadurch und bestimmt eine Temperatur des Hochtemperatur-Targets unter Verwendung eines Strahlungsthermometers, welches das Strahlungslicht empfängt und detektiert, welches von dem anderen Ende der optischen Faser emittiert wird, um in eine Temperatur umzuwandeln, wobei das Licht, welches von dem anderen Ende der optischen Faser emittiert wird, in zwei Spektralgruppen über ein Abzweigungsfilter verteilt wird, und jede der Spektralgruppen wird in jedes der zwei Strahlungsthermometer eingeführt. Jedes der zwei Strahlungsthermometer empfängt und erfasst ein Lichtwellenband, welches zueinander unterschiedlich ist, und wandelt das erfasste Licht in eine Temperatur um, um eine jeweilige Anzeigetemperatur zu erzeugen. Eine Berechnungseinrichtung berechnet eine echte Temperatur des Hochtemperatur-Targets durch Verwendung jedes Paares von Parametern für eine Temperaturumwandlung, die für jedes Strahlungsthermometer eigentümlich ist, einer Übertragungsverlustinformation des optischen Filters innerhalb jedes Lichtempfangs- und Erfassungswellenbands, und einer Anzeigetemperatur in jedem Strahlungsthermometer. Demzufolge ermöglicht die Konfiguration eine Beseitigung des Effekts der verringerten Faserlänge, wobei dieser Effekt das schwerwiegendste Problem des herkömmlichen Thermometers mit einer verbrauchbaren optischen Faser ist, und zum Bestimmen einer Temperatur eines Hochtemperatur-Targets, wie geschmolzenes Metall, kontinuierlich bei einer hohen Genauigkeit, einer hohen Ansprechrate und geringen Kosten, anstelle des herkömmlichen verbrauchbaren Eintauchthermometers unter Verwendung von Thermoelementen. Da insbesondere die Wirtschaftlichkeit durch Ermöglichen einer Verwendung einer langen Faser, um 1 km herum, verbessert wird, und da die Wartungsfähigkeit durch die Verringerung der Kalibrierungsarbeiten verbessert ist, wird das Anwendungsfeld signifikant verbreitert. Zum Beispiel zeigte ein Eisenherstellungsprozess den Effekt einer verbesserten Genauigkeit einer Temperaturregelung, wie eines Wandlers, eines elektrischen Ofens, eines Schmelzofens und einer Gießwanne beim kontinuier-

lichen Giessen. Diesbezüglich ist der industrielle Wert signifikant.

[0098] Gemäß der vorliegenden Erfindung bestimmen die zwei Strahlungsthermometer die Anzeigetemperatur durch Verwenden des Spektrallichts mit einer endlichen Bandbreite um eine unterschiedliche Wellenlänge herum für eine jeweiliges Thermometer, und verwendet die Berechnungseinrichtung die Gleichung (1), um die echte Temperatur  $T$  eines Hochtemperatur-Targets zu berechnen. Infolgedessen wird eine Messung mit hoher Genauigkeit, die einen Fehler von innerhalb von  $2^{\circ}\text{C}$  um  $1500^{\circ}\text{C}$  herum des Targets ergeben wird, bis zu 800 m des Faserverbrauchs erzielt.

[0099] Gemäß der vorliegenden Erfindung kann dann, wenn der Temperaturbereich des Hochtemperatur-Targets bekannt ist und wenn eine Approximationswert der Anzeigetemperatur der zwei Strahlungsthermometer eingestellt werden kann, die Berechnungseinrichtung die echte Temperatur  $T$  des Hochtemperatur-Targets durch Verwendung der Gleichung (2), die für die Anzeigetemperatur linear ist, berechnen. Infolgedessen bildet eine einfache analoge Schaltung die Berechnungseinrichtung, die ein Instrument bereitstellt, das eine hohe Ansprechrate mit einer hohen Genauigkeit und bei geringen Kosten ergibt.

[0100] Gemäß der vorliegenden Erfindung bestimmt jedes der zwei Strahlungsthermometer eine Anzeigetemperatur durch Verwenden eines Lichts mit einer schmalen Bandbreite, das unterschiedliche Wellenlängen zueinander aufweist und als ein einzelnes Spektrallicht akzeptabel ist, und berechnet die Berechnungseinrichtung die echte Temperatur  $T$  eines Hochtemperatur-Targets durch Verwendung der Gleichung (3), die eine einfache Berechnungsgleichung ist und die keine Approximationsberechnung enthält. Infolgedessen führt ein einfaches und kostengünstiges Instrument eine Temperaturbestimmung mit hoher Genauigkeit aus.

## AUSFÜHRUNGSFORM - 2

[0101] Für ein Verfahren zum Messen der Temperatur der vorliegenden Erfindung wird eine verbrauchbare optische Faser verwendet. Licht, welches von einer Hochtemperaturflüssigkeit emittiert wird, wird an einem Ende der verbrauchbaren optischen Faser empfangen. Das empfangene Licht wird durch die verbrauchbare optische Faser an das andere Ende der verbrauchbaren optischen Faser übertragen. Das empfangene Licht wird durch ein Verzweigungsfilter in zwei Lichtstrahlen gefiltert, d. h. einen ersten Lichtstrahl und einen zweiten Lichtstrahl. Der erste Lichtstrahl wird durch ein erstes Wellenselektionsfilter gefiltert, um ausschließlich ein erstes Spektrallicht eines ersten Wellenbandes mit einer vorgegebenen Mittenwellenlänge durchzulassen. Das durchgelassene Spektrallicht wird durch ein erstes Strahlungsthermometer empfangen und erfasst und in eine

Temperatur umgewandelt. Der zweite Lichtstrahl wird durch ein zweites Wellenselektionsfilter gefiltert, um ausschließlich ein zweites Spektrallicht eines zweiten Wellenbandes mit einer vorgegebenen Mittenwellenlänge durchzulassen. Das zweite Spektrallicht wird durch ein Strahlungsthermometer erfasst und in eine Temperatur umgewandelt. Eine echte Temperatur  $T$  wird durch Verwenden von Temperaturumwandlungsparametern, die dem ersten Strahlungsthermometer bzw. dem zweiten Strahlungsthermometer eigen sind, Übertragungsverlustinformationen der optischen Faser bezüglich des ersten Spektrallichts und des zweiten Spektrallichts und der Temperatur  $T_a$ ,  $T_b$ , die jeweils von dem ersten Strahlungsthermometer und dem zweiten Strahlungsthermometer ausgegeben werden, berechnet.

[0102] Das erste Spektrallicht des ersten Wellenbands, welches von dem ersten Wellenselektionsfilter gefiltert wurde, und das zweite Spektrallicht des zweiten Wellenbands, welches durch das zweite Wellenselektionsfilter gefiltert wurde, unterscheiden sich zueinander im Hinblick auf die Wellenlänge. Die Mittenwellenlänge des Schmalband-Spektrallichts ist vorzugsweise  $1,55\text{ }\mu\text{m}$  oder in der Nähe von  $1,55\text{ }\mu\text{m}$ . Ferner weist das Wellenselektionsfilter vorzugsweise ein Übertragungsband von  $\pm 0,1\text{ }\mu\text{m}$  zu der Mittenwellenlänge auf. Das erste Strahlungsthermometer weist eine InGaAs Photodiode als eine Lichtempfangs- und Erfassungseinrichtung auf. Das zweite Strahlungsthermometer weist eine Si-Photodiode als eine Lichtempfangs- und Erfassungseinrichtung auf.

## BEISPIEL - 2

[0103] Zunächst werden die Empfindlichkeitscharakteristiken eines Strahlungsthermometers unter Berücksichtigung der Dämpfung der optischen Faser nachstehend beschreiben. Die Spektralstrahlungshelligkeit  $L(\lambda, T)$  eines schwarzen Körpers wird mit der Gleichung (24) auf Grundlage des Plank'schen Gesetzes ausgedrückt.

$$L(\lambda, T) = 2C_1 / \{\lambda^5 \times (\text{EXP}(C_2/\lambda T) - 1)\} \quad (24)$$

mit  $\lambda$ : Wellenlänge

$T$ : Absoluttemperatur (K)

$C_1$ :  $5,9548 \times 10^{-7} \text{ W}\cdot\text{m}^2$

$C_2$ :  $0,014388 \text{ m}\cdot\text{K}$

[0104] Die Gleichung (24) wird durch die Wien'sche Gleichung (25) innerhalb eines Bereichs von

$$L(\lambda, T) = 2C_1 \times \text{EXP}(-C_2/\lambda T) / \lambda^5 \quad (25)$$

approximiert.

[0105] In einem gewöhnlichen Strahlungsthermometer werden die Helligkeitssignale auf eine Temperatur durch Verwendung einer Approximationsgleichung 26 umgewandelt, die die Koeffizienten  $A$ ,  $B$  und  $C$  verwendet, die durch Experimente gemäß der JIS bestimmt wurden (siehe "New temperature

measurement", S. 256, Instrumentation and Automatic Control Academy).

$$L(\lambda, T) = C \times \text{EXP}\{-C_2/(\lambda T + B)\} \quad (26)$$

[0106] **Fig. 8** zeigt ein Beispiel einer Vorrichtung zum Messen einer Temperatur unter Verwendung einer verbrauchbaren optischen Faser der vorliegenden Erfindung. In **Fig. 8** bezeichnet das Bezugszeichen **101** eine optische Faser, die mit einer metallischen Röhre bedeckt ist, **102** bezeichnet einen optischen Verbinder, **103** bezeichnet ein Thermometer mit einer verbrauchbaren optischen Faser, welches ein Schmalband-Wellenselektionsfilter **105**, eine Photodiode **107** und einen Temperaturwandler **109** umfasst.

[0107] Das Schmalband-Wellenselektionsfilter **105** wird z. B. durch Interferenzfilter gebildet und ermöglicht eine Übertragung eines spezifizierten Wellenbands ( $1,55 \pm 0,025 \mu\text{m}$  in diesem Beispiel) unter Verwendung einer Interferenz von Licht, das durch einen dünnen Film induziert wird. Die Photodiode **107** verwendet diejenige einer InGaAs Einrichtung in diesem Beispiel und empfängt und erfasst das Licht des  $1,55 \pm 0,025 \mu\text{m}$  Wellenbands, welches durch das Schmalband-Wellenselektionsfilter **105** übertragen wurde.

[0108] Der Temperaturwandler **109** wandelt das Ausgangssignal, welches von der InGaAs Photodiode **107** empfangen und erfasst wurde, in eine Temperatur um und erzeugt die Anzeigetemperatur T. Da in dem Modus der **Fig. 8** die Anzeigetemperatur T in einen Zustand wie umgewandelt (oder keine Korrekturberechnung wird angewendet) verwendet wird, kann der Temperaturwandler **109** entweder die Gleichung (25) oder die Gleichung (26) verwenden.

[0109] Die Photodiode **107** und der Temperaturwandler **109** bilden eines monochromatischen Strahlungsthermometer.

[0110] Das Bezugszeichen **112** bezeichnet eine Zuführungstrommel für die optische Faser, **113** bezeichnet eine Zuführungsrolle für die optische Faser, **114** bezeichnet eine Form, **115** bezeichnet einen geschmolzenen Stahl, **116** bezeichnet eine Eintauchdüse und **117** bezeichnet Pulver.

[0111] Die optische Faser der mit einer metallischen Röhre abgedeckten optischen Faser **101** ist eine Quarzfaser für eine Kommunikationsverwendung. Durch Anwenden einer metallischen Röhre, beispielsweise einer SUS-Röhre, als Abdeckmaterial, erhöht die optische Faser **101**, die mit einer metallischen Röhre bedeckt ist und als ein Sensor verwendet wird, ihre mechanische Festigkeit und ermöglicht das Eintauchen in den geschmolzenen Stahl **115**.

[0112] Da die optische Faser **101**, die mit einer metallischen Röhre abgedeckt ist und die in den geschmolzenen Stahl **115** eingetaucht wird, sich über der Zeit in der Hochtemperaturumgebung verbraucht, wird für die optische Faser **101**, die mit der metallischen Röhre bedeckt ist und die um die Zufüh-

rungstrommel **112** für die optische Faser herumgewickelt ist, ein Mechanismus bereitgestellt, um sukzessive eine Abwicklung vorzunehmen, um die verbrauchte Länge auszugleichen. Das Thermometer, welches mit dem Mechanismus versehen ist, wird als das Thermometer mit der verbrauchbaren optischen Faser bezeichnet.

[0113] **Fig. 8** verwendet nur ein einzelnes Wellenband für eine Temperaturmessung, so dass das Thermometer als das Thermometer mit einer verbrauchbaren optischen Faser einer einzelnen Wellenlänge bezeichnet wird.

[0114] Gemäß des Thermometers mit einer verbrauchbaren optischen Faser in **Fig. 8** wird das Infrarotlicht, welches von der Spitze der optischen Faser eintritt, während des Übertragungsdurchgangs gedämpft, bis es von dem anderen Ende der optischen Faser ausgegeben wird, aufgrund des Übertragungsverlusts. Die Übertragungscharakteristiken der optischen Faser sind eine Funktion der Wellenlänge. Obwohl die gegenwärtig erhältliche optische Quarzfaser eine beträchtliche Verbesserung hinsichtlich ihrer Betriebseigenschaften aufzeigt, ergibt der Übertragungsverlust normalerweise 2 bis 3 dB/km für eine normale Wellenlänge von  $0,9 \mu\text{m}$ , und 0,2 bis 0,5 dB/km für eine Wellenlänge von  $1,5 \mu\text{m}$ . Die **Fig. 6** und die **Fig. 7** zeigen einige der veröffentlichten beobachteten Übertragungsverluste in der optischen Faser.

[0115] Beide Figuren lassen erkennen, dass der Ausgang des Thermometers mit der verbrauchbaren optischen Faser durch die Länge der Faser beeinflusst wird. Gemäss eines Experiments auf einem Schwarzkörper-Ofen unter Verwendung eines monochromatischen Strahlungsthermometers mit  $0,9 \mu\text{m}$  Wellenlänge und unter Verwendung einer GI-Faser (Kerndurchmesser/Ummantelungsdurchmesser betrug  $50/125 \mu\text{m}$ ), wurde eine ungefähr  $10^\circ\text{C}$  höhere Anzeige bei einer Länge von 10 m der Faser im Vergleich mit der Referenztemperatur bei einer Länge von 100 m beobachtet.

[0116] Demzufolge wurde das Thermometer mit der verbrauchbaren optischen Faser dieser Erfindung entwickelt, um einen ursprünglichen Anzeigewert selbst dann aufrechtzuerhalten, wenn die Faserlänge kurz wird, und um eine Bestimmung einer Temperatur mit hoher Genauigkeit zu ermöglichen.

[0117] Unter Bezugnahme auf **Fig. 8** wird die Temperaturkalibrierung ausgeführt, wenn die Länge der optischen Faser **101**, die mit einer metallischen Röhre bedeckt ist, die Referenzfaserlänge ist, und die Strahlungshelligkeit des Lichts, das von dem monochromatischen Strahlungsthermometer empfangen wird, als E genommen wird, dann wird E durch die Wien'sche Gleichung (25A) ausgedrückt

$$E = 2C' \times \text{EXP}(-C_2/\lambda T)/\lambda^5 \quad (25A)$$

wobei C' eine Konstante ist, die für jedes Thermometer spezifisch ist.

[0118] Allgemein wird die Dämpfung durch den Lichtübertragungsverlust bei einer Faserlänge von X in der folgenden Gleichung dargestellt.

$$(RX) = \text{EXP}(-DCX)$$

[0119] Wenn die Länge einer optischen Faser um X von der Referenzlänge abnimmt (verbraucht wird), dann steigt das Empfangslicht um den Betrag an, der der voranstehend beschriebenen Dämpfung entspricht. Der Helligkeitsausgang E' des monochromatischen Strahlungsthermometers bei dieser Zeit wird mit der Gleichung (25B) geschrieben.

$$E' = 2C' \times \text{EXP}(DX) \times \text{EXP}(-C_2/\lambda T)/\lambda^5 \quad (25B)$$

[0120] Wenn der Temperaturanzeigewert zu der Zeit, wenn die optische Faser um X verbraucht wird, mit T' bezeichnet wird, dann wird der E' mit Gleichung (25C) geschrieben.

$$E' = 2C' \times \text{EXP}(-C_2/\lambda T')/\lambda^5 \quad (25C)$$

[0121] Demzufolge stimmt der Temperaturanzeigewert T in der Gleichung (25A) bei der Thermometerkalibrierung und der Temperaturanzeigewert T' in der Gleichung (25C), wenn die optische Faser verbraucht wird, nicht miteinander überein, und die Differenz von  $\Delta T = T' - T$  wird der Anzeigefehler.

[0122] Die Dämpfungscharakteristiken einer optischen Faser sind eine Funktion der Wellenlänge. Wie in **Fig. 6** und **Fig. 7** ersichtlich, ergibt allgemein die längere Wellenlänge eine geringere Dämpfung. Trotzdem nimmt die Dämpfung in der Nähe von 1,4  $\mu\text{m}$  aufgrund des OH-Gruppenabsorptionsbands zu.

[0123] Da die Ge-Photodiode ein breites Empfindlichkeitswellenband im Bereich von 0,8 bis 1,8  $\mu\text{m}$  aufweist, kann ein Ge-Strahlungsthermometer eine stabile Anzeige nicht bereitstellen, weil das Thermometer während der Kalibrierung einer hohen Temperatur ausgesetzt wird und die Faserspitze ihre Qualität verursacht durch die eingedrungenen Wasserstoffatome verändert, und weil der Übertragungsverlust D in dem OH-Gruppenabsorptionsband bei 1,4  $\mu\text{m}$  ansteigt.

[0124] Andererseits weist das Strahlungsthermometer **103** mit der verbrauchbaren optischen Faser in **Fig. 8** ein Schmalband-Wellenselektionsfilter **105** auf, welches eine Übertragung nur bei der Mittenwellenlänge von  $1,55 \pm 0,025 \mu\text{m}$  an der Einfallsebene der InGaAs-Photodiode **107** ermöglicht. Aufgrund des Wellenbands, welches den Effekt des 1,4  $\mu\text{m}$  Absorptionsbands nicht empfängt, ist der Wert des Übertragungsverlustindex D der optischen Faser so niedrig wie ungefähr 0,3 dB/km.

[0125] Wenn demzufolge bestimmt wird, dass die Temperatur 1500°C ist, begleitet den Faserverbrauch von 100 m nur ein Anstieg im Anzeigewert von 2 bis 3°C.

[0126] Da zusätzlich kein OH-Gruppen-Absorpti-

onsband enthalten ist, gibt es keine Instabilität des Temperaturanzeigewerts, die sich in einem Ge-Strahlungsthermometer erzeugen kann.

[0127] Da die Erfassungseinrichtung ferner eine InGaAs-Photodiode **107** verwendet, selbst wenn die Menge eines Erfassungslichts durch Durchlaufen durch das Schmalband-Wellenselektionsfilter **104** abnimmt, mischt sich das Licht nicht in einen Dunkelstrom und erlaubt eine Erfassung der Lichtmenge bei einem guten S/N-Verhältnis.

[0128] **Fig. 9** zeigt ein Ergebnis einer Beobachtung unter Verwendung des Thermometers mit einer verbrauchbaren optischen Faser nach **Fig. 8**.

[0129] Die durchgezogene Linie 8 zeigt den Fall an, bei dem eine InGaAs-Photodiode verwendet wird. Die gestrichelte Linie zeigt den Fall, bei dem eine Si-Photodiode als ein Vergleich verwendet wird.

[0130] In **Fig. 9** ist die metallische Röhre der optischen Faser **101**, die mit einer metallischen Röhre bedeckt ist, aus SUS mit einem Durchmesser 1,2 mm gebildet und die optische Faser ist aus einer Kommunikationsquarzfasern mit einer GI-Faser (Kerndurchmesser/Ummantelungsdurchmesser beträgt 50/125  $\mu\text{m}$ ) gebildet. Das Übertragungswellenband des Schmalband-Wellenselektionsfilters **105** ist ein  $1,55 \pm 0,025 \mu\text{m}$ .

[0131] Die durchgezogene Linie der **Fig. 9** ergibt ungefähr 25°C eines Messfehlers, selbst wenn der Faserverbrauch 1 km erreicht.

[0132] Wenn das Thermometer mit der verbrauchbaren optischen Faser, welches den Aufbau der **Fig. 8** aufweist, verwendet wird, wenn der Verbrauch der optischen Faser innerhalb von 100 m von dem Punkt einer Kalibrierung ist, dann ist die Temperaturmessung bei einer Genauigkeit von  $\pm 2^\circ\text{C}$  immer möglich. Deshalb kann die Faser durch diejenige mit einer Standardlänge bei jedem Verbrauch von 100 m ersetzt werden.

[0133] Für eine intermittierende Temperaturmessung verbraucht ein Thermometer mit einer verbrauchbaren optischen Faser gewöhnlicherweise ungefähr 40–50 mm bei jeder Messung. Selbst für den Fall, dass die Frequenz der Messung als dreimal pro Stunde oder  $3 \times 24 = 72$  mal am Tag gewählt wird, ist eine Trommel mit einer 100 m-Faser in der Lage, kontinuierlich die Temperatur für ungefähr einen Monat ( $72 \times 30 = 216$  Messungen) kontinuierlich zu bestimmen.

[0134] Infolgedessen ergibt sich bei dem Thermometer mit der verbrauchbaren optischen Faser unter Verwendung einer einzelnen Wellenlänge, das einen Aufbau der **Fig. 8** aufweist, kein Problem mit der Genauigkeit und wird in einer praktischen Anwendung ohne das Ergeben einer Korrekturberechnung verwendet.

[0135] **Fig. 8** zeigt ein Thermometer mit einer verbrauchbaren optischen Faser unter Verwendung einer einzelnen Wellenlänge ohne eine Korrekturberechnung anzuwenden. Nachstehend wird ein Messverfahren unter Verwendung von zwei Wellenlängen

und durch Bereitstellen einer Korrekturberechnung für die Faserlänge durchgeführt.

[0136] Gemäß der Erfindung wird bei dem Verfahren für eine Faserlängenkorrektur mit zwei Wellenlängen das abgestrahlte Licht, das von der Spitze der optischen Faser eintritt, in zwei Spektralgruppen verteilt. Jede der Gruppen wird in ein getrenntes monochromatisches Strahlungsthermometer mit einem unterschiedlichen Erfassungswellenband eingeleitet und die zwei Anzeigetemperaturen  $T_a$  und  $T_b$  werden bestimmt. Eine Korrekturberechnung wird auf  $T_a$  und  $T_b$  angewendet, um die echte Temperatur  $T$  zu bestimmen. Die Bestimmungsprozedur wird nachstehend beschrieben.

[0137] Die Anzeigewerte von zwei monochromatischen Strahlungsthermometern, deren Werte durch den Standardwert kalibriert sind, ergeben eine Differenz, wenn die Faserlänge kurz wird. Die Differenz zwischen den zwei Werten wird verwendet, um die echte Temperatur zu bestimmen. Das Berechnungsverfahren ist wie folgt:

(1) Eine Korrekturgleichung wird für den Fall abgeleitet, dass die Beziehung zwischen der Strahlungshelligkeit, die von dem Infrarot-Strahlungsthermometer bestimmt wird, und der Temperatur durch die Wien'sche Gleichung (25) ausgedrückt wird. Wenn das Ansprechwellenband des Lichtdetektors des Infrarot-Strahlungsthermometers ausreichend schmal ist und wenn das Ansprechwellenband als ein einzelnes Spektrum behandelt werden kann, dann ist die Gleichung anwendbar. Die effektive Wellenlänge jedes monochromatischen Strahlungsthermometers wird zu  $\lambda_a$  und  $\lambda_b$  ( $\mu\text{m}$ ) genommen.

[0138] Das Thermometer ist kalibriert, wenn die Faser sich auf einer Standardlänge befindet. Die Strahlungshelligkeit des Lichts, das von jedem der monochromatischen Strahlungsthermometer empfangen wird, wird zu  $E_a$  und  $E_b$  genommen. Die folgenden Wien'schen Gleichungen (25a) und (25b) werden abgeleitet.

$$E_a = 2C_a' \times \exp(-C_2/\lambda_a T) / \lambda_a^5 \quad (25a)$$

$$E_b = 2C_b' \times \exp(-C_2/\lambda_b T) / \lambda_b^5 \quad (25b)$$

wobei  $C_a'$  und  $C_b'$  Konstanten sind, die spezifisch für jedes Strahlungsthermometer sind.

[0139] Wenn die optische Faser ihre Länge um  $X$  von der Standardlänge verliert (verbraucht), dann steigt die Lichtmenge um den Betrag gleich zu  $R(X) = \exp(-DX)$  oder dem Lichtübertragungsverlust bei der Länge  $X$  an. Der Helligkeitsausgang  $E_a$  und  $E_b$  des monochromatischen Strahlungsthermometers an diesem Punkt werden durch die Gleichung (27) bzw. (28) geschrieben.

$$E_a = 2C_a' \times \exp(D_a X) \times \exp(-C_2/\lambda_a T) / \lambda_a^5 \quad (27)$$

$$E_b = 2C_b' \times \exp(D_b X) \times \exp(-C_2/\lambda_b T) / \lambda_b^5 \quad (28)$$

[0140] Wenn die Temperaturanzeigewerte bei dem Verbrauch von  $X$  der optischen Faser als  $T_a$  und  $T_b$  genommen werden, dann werden die  $E_a$  und  $E_b$  mit den Gleichungen (29) bzw. (30) geschrieben.

$$E_a = 2C_a' \times \exp(-C_2/\lambda_a T_a) / \lambda_a^5 \quad (29)$$

$$E_b = 2C_b' \times \exp(-C_2/\lambda_b T_b) / \lambda_b^5 \quad (30)$$

[0141] Der Ausdruck  $E_a$  bzw.  $E_b$  wird aus den Gleichungen (27), (28), (29) und (30) beseitigt und das Ergebnis wird durch eine logarithmische Korrelation umgeordnet und die Gleichungen (31) und (32) werden abgeleitet.

$$D_a X - C_2/\lambda_a T = -C_2/\lambda_a T_a \quad (31)$$

$$D_b X - C_2/\lambda_b T = -C_2/\lambda_b T_b \quad (32)$$

[0142] Dann wird  $X$  aus den Gleichungen (31) und (32) eliminiert und die Gleichungen werden im Hinblick auf die echte Temperatur  $T$  umgeschrieben, um die Gleichung (33) zu ermitteln.

$$T = (1/D_a \lambda_a - 1/D_b \lambda_b) / (1/D_a \lambda_a T_a - 1/D_b \lambda_b T_b) \quad (33)$$

[0143] Die Gleichung (33) verwendet durch ihre Ableitung keine Approximation, so dass sie den Effekt der Faserlänge beseitigt oder einen Fehler beseitigt und eine Bestimmung der echten Temperatur  $T$  erlaubt, insoweit die Beziehung zwischen der Strahlungshelligkeit, die von einem Infrarot-Strahlungsthermometer erfasst wurde, und der echten Temperatur, durch die Wien'sche Gleichung ausgedrückt wird.

(2) Der nächste Schritt besteht darin, eine Korrekturgleichung für den Fall abzuleiten, dass das Erfassungswellenband eines Infrarot-Strahlungsthermometers eine endliche Breite aufweist und, dass das Erfassungswellenband nicht als ein einzelnes Spektrum behandelt werden kann. In diesem Fall wird die Beziehung zwischen der Strahlungshelligkeit und der Temperatur durch die Gleichung (26) unter Verwendung der  $A$ ,  $B$  und  $C$  Konstanten ausgedrückt.

[0144] Das Thermometer wird auf die Standardfaserlänge kalibriert und die Strahlungshelligkeit des Lichts, das von dem monochromatischen Strahlungsthermometer an diesem Punkt empfangen wird, wird als  $E_a$  und  $E_b$  genommen. Dann werden die Konstanten  $A$ ,  $B$  und  $C$  von jedem der Strahlungsthermometer  $A_a$ ,  $B_a$ ,  $C_a$  und  $A_b$ ,  $B_b$ ,  $C_b$  verwendet, um die Beziehung mit der echten Temperatur  $T$  in der Gleichung (26a) und (26b) auszudrücken.

$$E_a = C_a \times \exp\{-C_2/(\lambda_a T + B_a)\} \quad (26a)$$

$$E_b = C_b \times \text{EXP}\{-C_2/(\lambda_b T + B_b)\} \quad (26b)$$

[0145] Der Helligkeitsausgang bzw. die Helligkeitsausgabe  $E_a$  und  $E_b$  des monochromatischen Strahlungsthermometers bei der Verringerung (bei dem Verbrauch) der Länge  $X$  von der Standardlänge der optischen Faser wird durch die Gleichung (34) bzw. (35) ausgedrückt.

$$E_a = C_a \times \text{EXP}(D_a X) \times \text{EXP}\{-C_2/(\lambda_a T + B_a)\} \quad (34)$$

$$E_b = C_b \times \text{EXP}(D_b X) \times \text{EXP}\{-C_2/(\lambda_b T + B_b)\} \quad (35)$$

[0146] Wenn der Temperaturanzeigewert als  $T_a$  und  $T_b$  genommen wird, dann kann der Ausdruck  $E_a$  und  $E_b$  als die Gleichungen (36) und (37) ausgedrückt werden.

$$E_a = C_a \times \text{EXP}\{-C_2/(\lambda_a T_a + B_a)\} \quad (36)$$

$$E_b = C_b \times \text{EXP}\{-C_2/(\lambda_b T_b + B_b)\} \quad (37)$$

[0147] Dann werden  $E_a$  und  $E_b$  aus den Gleichungen (34), (35), (36) und (37) beseitigt und die Ergebnisse werden durch eine logarithmische Beziehung umgeordnet, so dass die Gleichungen (38) und (39) abgeleitet werden.

$$D_a X - C_2/(\lambda_a T + B_a) = -C_2/(\lambda_a T_a + B_a) \quad (38)$$

$$D_b X - C_2/(\lambda_b T + B_b) = -C_2/(\lambda_b T_b + B_b) \quad (39)$$

[0148] Wenn  $X$  aus den Gleichungen (38) und (39) beseitigt wird, werden die Gleichungen (40) abgeleitet.

$$1/D_a(\lambda_a T + B_a) - 1/D_b(\lambda_b T + B_b) = 1/D_a(\lambda_a T_a + B_a) - 1/D_b(\lambda_b T_b + B_b) \quad (40)$$

[0149] Die Gleichung (40) wird für die echte Temperatur  $T$  gelöst, um die Gleichung (41) zu ergeben.

$$T = \left\{ \left[ (A_a B_b + A_b B_a) \left\{ -D_a C_2/(\lambda_b T_b + B_b) + D_b C_2/(\lambda_a T_a + B_a) \right\} + (A_a D_b - A_b D_a) C_2 + [(A_a B_b - A_b B_a)^2 \left\{ -D_a C_2/(\lambda_b T_b + B_b) + D_b C_2/(\lambda_a T_a + B_a) \right\}^2 + 2 C_2 (A_a B_b - A_b B_a) (A_a D_a + A_b D_b) \left\{ -D_a C_2/(\lambda_b T_b + B_b) + D_b C_2/(\lambda_a T_a + B_a) \right\} + (A_a D_a - A_b D_b)^2 C_2^2]^{1/2} \right] / [2 A_a A_b \{ -D_a C_a/(\lambda_b T_b + B_b) + D_b C_b/(\lambda_a T_a + B_a) \}] \right\} \quad (41)$$

[0150] Die Gleichung (41) verwendet durch ihre Ableitung keine Approximation, so dass sie den Effekt der Faserlänge frei von einem Fehler beseitigt und die Bestimmung der echten Temperatur  $T$  ermöglicht, soweit die Beziehung zwischen der Strahlungshelligkeit, die von dem Infrarot-Strahlungsthermometer erfasst wurde, und der echten Temperatur mit der Gleichung (26) ausgedrückt wird.

[0151] Da die Gleichung (41) komplex ist und viel Zeit für eine Berechnung benötigt, wird eine Approximationsgleichung, die eine einfache Korrektur aus-

führt, verwendet. Wenn man sich auf die Tatsache konzentriert, dass die Beziehung  $\Delta T \gg B$  allgemein in der Nähe von 1500°C von  $T$  und 1 bis 2  $\mu\text{m}$  von  $\lambda$  auftritt, dann kann der Ausdruck  $[1/(AT + B)]$  als ungefähr gleich zu  $[1/(AT - B/(AT)^2)]$  genommen werden. Wenn die Approximation verwendet wird, dann wird die Gleichung (40) als die Gleichung (42) dargestellt.

$$(1/T_a - 1/T)/D_a A_a - B_a(1/T_a^2 - 1/T^2)/D_a A_a = (1/T_b - 1/T)/D_b A_b - B_b(1/T_b^2 - 1/T^2)/D_b A_b \quad (42)$$

[0152] Wenn ferner die Beziehung  $[T_a - T \gg T_a]$  und  $[T_b - T \gg T_b]$  berücksichtigt wird, dann ist der Wert von  $(1/T_a + 1/T)$  ungefähr gleich zu  $2/T_a$  und der Wert von  $(1/T_b + 1/T)$  ist ungefähr gleich zu  $2/T_b$ . Durch Verwendung dieser Approximationsbeziehungen wird die Gleichung (42) als die Gleichung (43) dargestellt.

$$(1/T_a - 1/T)(1 - 2B_a/A_a T_a)/D_a A_a = (1/T_b - 1/T)(1 - 2B_b/A_b T_b)/D_b A_b \quad (43)$$

[0153] Wenn die Gleichung (43) für die echte Temperatur  $T$  gelöst wird, dann wird die Gleichung (44) abgeleitet.

$$T = \left\{ \left\{ (1/D_a A_a - 1/D_b A_b) - 2(B_a/D_a A_a^2 T_a - B_b/D_b A_b^2 T_b) \right\} \div (1/D_a A_a T_a - 1/D_b A_b T_b) - 2(B_a/D_a A_a^2 T_a^2 - B_b/D_b A_b^2 T_b^2) \right\} \quad (44)$$

[0154] Die echte Temperatur  $T$  nach Beseitigen des Effekts der Länge  $X$  der optischen Faser wird durch eine Berechnung von der Gleichung (41) oder (44) unter Verwendung der Anzeigewerte  $T_a$  und  $T_b$  der zwei Infrarot-Strahlungsthermometer, jedem einzelnen Paar von Parametern  $A_a$  und  $B_a$  und  $A_b$  und  $B_b$  von den Parametern  $A$ ,  $B$  und  $C$ , die die Charakteristiken jedes Strahlungsthermometers darstellen, und der Übertragungsverlustkoeffizienten  $D_a$  und  $D_b$  bei der Messwellenlänge jedes Strahlungsthermometers bestimmt.

[0155] Für den Fall, dass die Daten in digitale Signale umgewandelt werden und dass der Digitalsignalprozessor (DSP) und die Zentralverarbeitungseinheit (CPU) eine digitale Berechnung ausführen, kann die Gleichung (44) verwendet werden wie sie ist. Jedoch ist in einer analogen Schaltung, die die Gleichung (44) berechnet, die Gleichung zu komplex.

[0156] In dieser Hinsicht wird zur Vereinfachung der Berechnung durch eine analoge Schaltung die folgende Approximation weiter eingeführt.

[0157] Wenn die Beziehungen, dass  $\{1/T_a - 1/T\}$  ungefähr gleich zu  $\{(T - T_a)/T^2\}$  ist, und dass  $\{1/T_b - 1/T\}$  ungefähr gleich zu  $\{(T - T_b)/T^2\}$  ist, auf die Gleichung (43) angewendet werden, dann wird die Gleichung (43a) abgeleitet.

$$(1 - 2B_a/A_a T_a) (T - T_a)/D_a A_a = (1 - 2B_b/A_b T_b) (T - T_b)/D_b A_b \quad (43a)$$

[0158] Die Gleichung (43a) wird für die echte Temperatur  $T$  gelöst und die Gleichung (45) wird abgeleitet.

$$T = \{(1 - 2B_a/A_a T_a)T_a/D_a A_a - (1 - 2B_b/A_b T_b)T_b/D_b A_b\} / \{(1 - 2B_a/A_a T_a)/D_a A_a - (1 - 2B_b/A_b T_b)/D_b A_b\} \quad (45)$$

[0159] Ferner wird der Fall studiert, bei dem der Temperaturbereich des Targets im Hinblick auf  $T_a$  und  $T_b$  bekannt ist und bei dem der Approximationswert der Anzeigetemperatur  $T_a'$  und  $T_b'$  bekannt ist. Wenn z. B. von dem Temperaturbereich eines Targets bekannt ist, dass es einen Bereich von 1400–1600°C aufweist, kann der Mittelwert des Temperaturbereichs, 1500°C, als ein Approximationswert gesetzt werden.

[0160] In diesem Fall kann die Gleichung (45) durch die Gleichung (46) approximiert werden.

$$T = \{(1 - 2B_a/A_a T_a')T_a/D_a A_a - (1 - 2B_b/A_b T_b')T_b/D_b A_b\} / \{(1 - 2B_a/A_a T_a')/D_a A_a - (1 - 2B_b/A_b T_b')/D_b A_b\} \quad (46)$$

[0161] Da die Gleichung (46) für  $C_a$  und  $C_b$  linear ist und da ihre Koeffizienten bekannt sind und vorher bestimmt werden, kann die Berechnung der Gleichung (46) selbst mit einer einfachen analogen Schaltung reproduziert werden.

[0162] Der nächste Schritt besteht darin zu bestimmen, ein wie großer Fehler eines Temperaturanzeigewerts und eines Parameters auf den geschätzten Wert der Temperatur reflektieren.

[0163] Es sei z. B. der Fall betrachtet, bei dem die erfassten Spektren von zwei Infrarot-Strahlungsthermometern als ein einzelnes Spektrum behandelt werden können. Die Anzeigewerte  $T_a$  und  $T_b$  der zwei Thermometer, die effektiven Wellenlängen  $\lambda_a$  und  $\lambda_b$  von jedem der Infrarot-Strahlungsthermometer und der Übertragungsverlustkoeffizient  $D_a$  und  $D_b$  der optischen Faser bei der effektiven Wellenlänge werden verwendet, um die echte Temperatur  $T$  an der Spitze der Faser unter Verwendung der Gleichung (33) zu bestimmen. Wenn die Werte  $T$ ,  $T_a$  und  $T_b$  auf fast einen gleichen Wert zueinander approximiert werden, dann wird der Fehler  $dT$  des abgeschätzten Werts der echten Temperatur  $T$  mit der Gleichung (47) gegeben.

$$dT = \{XT^2(dD_a/D_a - dD_b/D_b)/C^2 + dT_a/(D_a \lambda_a) - dT_b/(D_b \lambda_b)\} / \{1/(D_a \lambda_a) - 1/(D_b \lambda_b)\} \quad (47)$$

[0164] Der nächste Schritt besteht darin, den Fall (A), bei dem beide Strahlungsthermometer ein Si-Strahlungsthermometer verwenden, und den Fall (B), bei dem eines der zwei Strahlungsthermometer ein InGaAs-Strahlungsthermometer verwendet und das andere ein Si-Strahlungsthermometer verwendet, im Hinblick auf die Größe eines Fehlers  $dT$  der echten Temperatur  $T$ , angezeigt von der Gleichung (47), zu vergleichen.

(A) Für den Fall, dass beide Strahlungsthermome-

ter ein Si-Strahlungsthermometer verwenden, wird der  $dT$  der Gleichung (47) unter der Bedingung ausgewertet, dass eine Si-Photodiode für die Erfassungseinrichtung auf beiden Infrarot-Strahlungsthermometern verwendet wird und dass die zwei verschiedenen Wellenlängen zu  $\lambda_a = 0,85 \mu\text{m}$  und  $\lambda_b = 1,0 \mu\text{m}$  genommen werden.

[0165] Wenn der Übertragungsverlustindex die beobachteten Werte  $D_a = 2,6 \text{ dB/km}$  und  $D_b = 1,8 \text{ dB/km}$  verwendet und wenn die Werte von  $\lambda_a$ ,  $\lambda_b$ ,  $D_a$  und  $D_b$  in die Gleichung (47) unter der Bedingung von  $T = 1500^\circ\text{C}$  und einer Faserlänge von 1 km eingesetzt werden, dann wird  $dT$  mit der Gleichung (48) dargestellt.

$$dT = -490(dD_a/D_a - dD_b/D_b) - 4.4 dT_a + 5.4 dT_b \quad (48)$$

[0166] In der Gleichung (48) werden das Anzeigewerttauschen auf den zwei Infrarot-Strahlungstemperaturen und der gemessene Temperaturfehler  $dT_a$  und  $dT_b$  auf das ungefähr 5-fache verstärkt und das Vorzeichen wird zueinander umgedreht. Wenn beide  $dT_a$  und  $dT_b$  die gleiche Polarität aufweisen, dann löschen sich demzufolge die Werte aus. Wenn sie jedoch unterschiedliche Polarität aufweisen, dann werden die Werte addiert. Wenn die Werte des Übertragungsverlusts  $D_a$  und  $D_b$  nicht genau sind und wenn sie einen Fehler von 1% z. B. aufweisen, weist die echte Temperatur  $D$  ungefähr 5°C des Temperaturfehlers auf.

[0167] Selbst wenn die Genauigkeit der zwei monochromatischen Strahlungsthermometer  $\pm 2^\circ\text{C}$  beträgt, kann sich demzufolge in dem Fall (A) die Genauigkeit des Temperaturanzeigewerts nach einer Korrektur der Faserlänge auf bis zu  $\pm 10^\circ\text{C}$  im schlechtesten Fall verschlechtern. Da der Effekt des Fehlers, der in dem Übertragungsfluss  $D_a$  und  $D_b$  enthalten ist, signifikant ist, ist ein genauer Wert des Übertragungsverlusts in jedem beobachteten Wellenband der optischen Faser erforderlich.

(B) Der Fall, bei dem eines der zwei Strahlungsthermometer ein InGaAs-Strahlungsthermometer verwendet und das andere ein Si-Strahlungsthermometer verwendet, wird als nächstes studiert. Als ein Beispiel verwendet eines der zwei Strahlungsthermometer ein monochromatisches Strahlungsthermometer, das in **Fig. 8** gezeigt ist, wobei die Lichtempfangseinrichtung eine InGaAs-Photodiode ist und bei dem ein Schmalband-Wellenselektionsfilter mit der zentralen Wellenlänge von 1,55  $\mu\text{m}$  auf der Lichtempfangsebene eingebracht ist und das andere Strahlungsthermometer eine Si-Photodiode verwendet. Die Anzeigewerte  $T_a$  und  $T_b$  von diesen zwei Strahlungsthermometern werden in einen Korrekturrechner eingegeben, um  $T$  unter Verwendung der Gleichung (33) zu bestimmen.

[0168] Wenn  $\lambda_a = 0,9 \mu\text{m}$ ,  $\lambda_b = 1,55 \mu\text{m}$ ,  $D_a = 2,2$



dB/km und  $D_b = 0,3$  dB/km in die Gleichung (47) eingesetzt werden, wird  $dT$  durch die Gleichung (49) unter der Bedingung von  $T = 1500^\circ\text{C}$  und  $X = 1$  km dargestellt.

$$dT = -30(dD_a/D_a - dD_b/D_b) - 0,3 dT_a + 1,3 dT_b \quad (49)$$

[0169] In der Gleichung (49) wird der Fehler der beobachteten Temperatur  $dT_b$  des InGaAs-Strahlungsthermometers auf  $dT$  mit einer sehr geringen Verstärkung reflektiert und der Fehler der beobachteten Temperatur,  $dT_a$  des Si-Strahlungsthermometers beeinträchtigt sehr wenig den Abschätzungsfehler der echten Temperatur. Selbst wenn der Fehler des Übertragungsverlust  $D$  5% beträgt, ist der sich ergebende Fehler von  $T$  nur  $1,5^\circ\text{C}$ . Für den Fall von (B) ist deshalb dann, wenn die Genauigkeit der zwei Strahlungsthermometer  $\pm 2^\circ\text{C}$  ist, die Genauigkeit nach einer Korrekturberechnung innerhalb von  $\pm 3^\circ\text{C}$ .

[0170] Da ferner keine genauen Werte des Übertragungsverlust  $D_a$  und  $D_b$  gefordert werden, können die beobachteten Werte, die aus einem Katalog oder einem OTDR (einem Optikimpulstester) genommen werden, verwendet werden, was die Kalibrierungsarbeiten beträchtlich vereinfacht.

[0171] Wenn die Genauigkeit der echten Temperatur nach einer Korrekturberechnung zwischen dem Fall (A) und (B) verglichen wird, dann ist der Fall (B) dem Fall (A) als dem System mit zwei Strahlungsthermometern überlegen.

[0172] Für den Fall, dass die Erfassungsspektren des Strahlungsthermometers ein endliches Band aufweisen und wenn die Gleichung (26) anstelle der Wien'schen Gleichung (25) anwendbar ist, ist eine Korrekturberechnungsgleichung, die sich von der Gleichung (33) unterscheidet, erforderlich, z. B. die Gleichung (44) und Gleichung (46). Die Genauigkeit der echten Temperatur nach einer Korrekturberechnung für diesen Fall ist auch in dem Fall (B) besser als in dem Fall (A).

[0173] **Fig. 10** ist eine Figur, die einen Aufbau eines anderen Beispiels des Thermometers mit einer verbrauchbaren optischen Faser der vorliegenden Erfindung zeigt.

[0174] In **Fig. 10** bezeichnen die Bezugszeichen **101**, **102**, **105**, **107**, **109** und **112** bis **117** die gleichen wie in **Fig. 8**. Das Bezugszeichen **3A** ist ein Thermometer mit einer verbrauchbaren optischen Faser mit Nr. 1 und Nr. 2 monochromatischen Strahlungsthermometern, die eine Temperaturmessung bei zwei verschiedenen Wellenlängen ausführen und einen Berechnungsabschnitt **111**, der eine Korrekturberechnung ausführt, umfassen.

[0175] Das Bezugszeichen **104** bezeichnet ein Abzweigungsfilter, beispielsweise einen Strahlteiler, der ein Licht, das von einem Ende der metallischen Röhre abgedeckten optischen Faser **101** über einen Lichtverbinder **102** emittiert wird, in zwei spektrale Gruppen verteilt. Ein spektrales Licht der zwei Spektralgruppen wird an das Schmalband-Wellenselektionsfilter **105** emittiert und das andere Spektrallicht wird an das Wellenband-Selektionsfilter **106** emittiert.

Das Schmalband-Wellenselektionsfilter **105** ist das gleiche wie in **Fig. 8** gezeigt, das ein Schmalbandlicht mit der Wellenlänge von  $1,55 \pm 0,025 \mu\text{m}$  an die InGaAs-Photodiode **107** überträgt. Das Wellenband-selektionsfilter **106** ist mit einem Farbglass-Wellenselektionsfilter aufgebaut, welches z. B. ein Bandlicht der Wellenlänge im Bereich von  $0,7-1,1 \mu\text{m}$  an die Si-Photodiode **108** überträgt. Die Bezugszeichen **109** und **111** sind die Temperaturwandler, die die Erfassungssignale der Photodioden **107** bzw. **108** empfangen.

[0176] Der Temperaturwandler **109** führt eine Temperaturumwandlung auf Grundlage des Erfassungssignals, welches beim Empfangen und Erfassen des Spektrallichts bei der Wellenlänge von  $1,55 \pm 0,025 \mu\text{m}$  auf der InGaAs-Photodiode **107** erfasst wird, aus und erzeugt die Anzeigetemperatur  $T_a$ . In einer ähnlichen Weise erzeugt der Temperaturwandler **110** die Anzeigetemperatur  $T_b$  durch Ausführen einer Temperaturumwandlung auf Grundlage des Erfassungssignals, welches erzeugt wird, wenn die Si-Photodiode **108** das Spektrallicht bei der Wellenlänge im Bereich von  $0,7-1,1 \mu\text{m}$  empfängt und erfasst.

[0177] In diesem Beispiel verwenden die Temperaturwandler **109** und **110** die Gleichung (26), die zuvor zum Umwandeln eines endlichen Spektrallichts beschrieben wurde, als die Temperaturumwandlungsgleichung und verwenden spezifische Parameter  $A_a$ ,  $B_a$ ,  $C_a$  bzw.  $A_b$ ,  $B_b$ ,  $C_b$ .

[0178] Die InGaAs-Photodiode und der Temperaturwandler **109** bilden das Nr. 1 monochromatische Strahlungsthermometer und die Si-Photodiode **108** und der Temperaturwandler **109** bilden das Nr. 2 monochromatische Strahlungsthermometer.

[0179] Das Bezugszeichen **111** bezeichnet den Berechnungsabschnitt, der die echte Temperatur  $T$  durch eine Korrekturberechnung berechnet, um den Effekt der Länge der optischen Faser aus den Temperaturanzeigewerten  $T_a$  und  $T_b$  zu beseitigen, die von den Nr. 1 und Nr. 2 Strahlungsthermometern erzeugt werden. Der Berechnungsabschnitt **111** führt die Berechnung entweder unter Verwendung der Gleichung (41), (44) oder (46) aus.

[0180] Wenn der Berechnungsabschnitt **111** mit einem Digitalsignalprozessor (DSP) oder einer Zentralverarbeitungseinheit (CPU) aufgebaut ist und wenn er eine digitale Berechnung ausführt, ist die Berechnung der Gleichung (44) einfach, wenn nur die eingegebenen Daten in digitale Signale umgewandelt werden. Wenn ferner der Berechnungsabschnitt mit einem analogen Rechner aufgebaut ist, wird die Gleichung (46) leicht berechnet, weil die Gleichung (46) eine lineare Approximationsgleichung ist. Eine optimale Berechnungsgleichung kann unter Berücksichtigung einer Messgenauigkeit, einer Berechnungszeit und der Kosten gewählt werden.

[0181] Für den Fall, dass die Gleichung (44) als die Berechnungsgleichung für den Berechnungsab-

schnitt 11 angewendet wird, wird die echte Temperatur  $T$  aus der Gleichung (44) unter Verwendung von zwei Parametern  $A_a$ ,  $B_a$  und  $A_b$ ,  $B_b$  für die Temperaturumwandlung, die für die Nr. 1 und Nr. 2 Strahlungsthermometer spezifisch ist, des faseroptischen Übertragungsverlusts  $T_a$  und  $T_b$  bei jedem Lichtempfangs- und Erfassungswellenband und zwei Anzeigetemperaturen  $T_a$  und  $T_b$ , die von jedem der Strahlungsthermometer erzeugt werden, bestimmt.

[0182] Fig. 11 zeigt ein beobachtetes Ergebnis des verbrauchbaren faseroptischen Thermometers der Fig. 10, wobei der Berechnungsabschnitt 111 die Korrekturberechnungsgleichung (44) verwendet hat.

[0183] Die durchgezogene Linie der Fig. 11 wurde unter Verwendung der InGaAs-Photodiode und der Si-Photodiode mit dem Aufbau der Fig. 10 und durch Anwenden einer Korrektur durch die Gleichung (44) gezeichnet. Die gestrichelte Linie der Fig. 11 wurde zum Vergleich unter Verwendung der Si-Photodiode für beide Wellenlängen und durch Anwenden einer Korrektur durch die Gleichung (44) gezeichnet. In der durchgezogenen Linie der Fig. 11 war der Fehler nach einer Berechnung, selbst wenn sich ein Faserverbrauch von 2 km ergeben hat, so klein wie  $1,5^\circ\text{C}$  und die durchgezogene Linie zeigt an, dass eine höchst genaue Messung im Vergleich mit der gestrichelten Linie möglich ist.

[0184] Für den Fall, dass die Gleichung (46) für die Berechnungsgleichung für den Berechnungsabschnitt 11 angewendet wird, wird die echte Temperatur  $T$  aus der Gleichung (46) unter Verwendung von zwei Parametern  $A_a$ ,  $B_a$  und  $A_b$  und  $B_b$  für eine Temperaturumwandlung, die für die Nr. 1 und Nr. 2 Strahlungsthermometer spezifisch ist, eines faseroptischen Übertragungsverlusts  $D_a$  und  $D_b$  an jedem Lichtempfangs- und Erfassungs-Wellenband, zwei Anzeigetemperaturen  $T_a$  und  $T_b$ , die von jedem der Strahlungsthermometer erzeugt werden und Approximationswerten  $T_a'$  und  $T_b'$  zu den zwei Anzeigewerten bestimmt. Da die Gleichung (46) linear ist, wendet sie einen einfachen Berechnungsabschnitt 11, der eine analoge Schaltung umfasst, an.

[0185] Fig. 12 zeigt ein beobachtetes Ergebnis des Thermometers der Fig. 10 mit der verbrauchbaren optischen Faser, wobei der Berechnungsabschnitt 111 die Korrekturberechnungsgleichung (46) verwendet.

[0186] Die durchgezogene Linie der Fig. 12 wird unter Verwendung der InGaAs-Photodiode und der Si-Photodiode, die beide den Aufbau der Fig. 10 aufweisen und eine Korrektur mit Gleichung (46) anwenden, gezeichnet. Die gestrichelte Linie der Fig. 12 wird für einen Vergleich unter Verwendung der Si-Photodiode für beide Wellenlängen und eine Anwendung einer Korrektur mit Gleichung (46) gezeichnet. In der durchgezogenen Linie der Fig. 12 ist der Fehler nach einer Korrektur, selbst wenn sich ein Faserverbrauch 1 km ergibt, so klein wie  $\pm 2^\circ\text{C}$ . Da dieser Fall eine Approximationsberechnung verwendet, ist die Genauigkeit geringer als für den Fall der durch-

gezogenen Linie der Fig. 11. Trotzdem ist der Fall der durchgezogenen Linie dem Fall der gestrichelten Linie überlegen und die erstere ergibt eine ausreichende Genauigkeit für eine praktische Verwendung, die ungefähr einen Fehler von  $0,2^\circ\text{C}$  bei 100 m eines Faser verbrauchs aufzeigt.

[0187] Die Charakteristiken des Schmalband-Wellenselektionsfilters 105 in Fig. 10 sind die Mittenwellenlänge von  $1,55\text{ }\mu\text{m}$  und die Übertragungsbandbreite von innerhalb von  $\pm 0,025\text{ }\mu\text{m}$  als ein Beispiel. Jedoch ist die vorliegende Erfindung nicht durch die Charakteristiken beschränkt. Die Mittenwellenlänge muss  $1,4\text{ }\mu\text{m}$  vermeiden, was das Absorptionsband der OH-Gruppe ist. Die Wellenlänge kann in der Nähe von  $1,55\text{ }\mu\text{m}$  sein oder kann von  $1,55\text{ }\mu\text{m}$  in Richtung auf die Seite längerer Wellenlängen hin verschoben sein, wenn das Wellenband ein Erfassungssignal bereitstellt, welches für die Lichtempfangs- und Erfassungseinrichtung erforderlich ist, um eine Umwandlung in eine Temperatur in dem nachfolgenden Schritt vorzunehmen.

[0188] Die Übertragungsbandbreite kann auf z. B. einen Grad von  $\pm 0,1\text{ }\mu\text{m}$  von der Mittenlänge verbreitert werden. Wenn die Erfassungslichtmenge ohne Begleiten einer Verschlechterung des S/N-Verhältnisses erhöht wird, ist die Verbreiterung der Übertragungsbandbreite akzeptabel.

[0189] Wie voranstehend beschrieben, empfängt ein Thermometer mit einer verbrauchbaren optischen Faser ein Strahlungslicht, welches von einem Hochtemperatur-Target an einem Ende der optischen Faser emittiert wird, und überträgt das empfangene Strahlungslicht dadurch und bestimmt eine Temperatur des Hochtemperatur-Targets unter Verwendung eines Strahlungsthermometers, das das von einem anderen Ende der optischen Faser emittierte Strahlungslicht empfängt und erfasst, um eine Umwandlung in eine Temperatur vorzunehmen. Weiterhin ist ein Schmalband-Wellenselektionsfilter vorgesehen, um eine Übertragung nur des Schmalband-Spektrallichts mit einer Mittenwellenlänge von  $1,55\text{ }\mu\text{m}$  oder in der Nähe von  $1,55\text{ }\mu\text{m}$  in das Licht, das von dem anderen Ende der optischen Faser emittiert wird, zu ermöglichen, und um zu ermöglichen, dass das Strahlungsthermometer das übertragene Licht empfängt und erfasst. Infolgedessen wird für den Fall, dass die Temperatur des Targets um  $1500^\circ\text{C}$  ist, der Temperaturfehler 2 bis  $3^\circ\text{C}$  innerhalb von 100 m des Verbrauchs der optischen Faser. Demgemäß wird dann, wenn die optische Faser alle verbrauchten 100 m auf eine neue Standardlänge ersetzt wird, wird eine lange Periode einer kontinuierlichen Messung bei der voranstehend beschriebenen Genauigkeit ohne Anwenden einer Korrekturberechnung auf die Anzeigetemperatur des Strahlungsthermometers erreicht.

[0190] Ein solches Schmalband-Wellenselektionsfilter weist ein Übertragungsband innerhalb eines Bereichs von  $\pm 0,1\text{ }\mu\text{m}$  zu der Mittenwellenlänge auf. Deshalb tritt kein Effekt eines OH-Gruppen-Absorptionsbands in der Nähe von  $1,4\text{ }\mu\text{m}$  auf und das Strah-

lungsthermometer kann die Wien'sche Approximationsgleichung verwenden, die ein einzelnes Spektrum behandelt.

[0191] Das Strahlungsthermometer mit einer InGaAs-Photodiode als Lichtempfangs- und Erfassungseinrichtung versehen. Da die Erfassungseinrichtung eine InGaAs-Photodiode verwendet, mischt sich das Licht nicht in einen Dunkelstrom und ermöglicht eine Erfassung der Lichtmenge bei einem guten S/N-Verhältnis, selbst wenn die Menge des Erfassungslichts abnimmt, indem es durch das Schmalband-Wellenselektionsfilter geht.

[0192] Gemäss der vorliegenden Erfindung wird ein Thermometer mit einer verbrauchbaren optischen Faser verwendet, um Strahlungslicht zu empfangen, welches von einem Hochtemperatur-Target an einem Ende der optischen Faser emittiert wird, und um das Licht dadurch zu übertragen und das Licht, welches von dem anderen Ende davon emittiert wird, zu empfangen und zu erfassen, um die echte Temperatur des Hochtemperatur-Targets zu bestimmen. Das Licht, welches von dem anderen Ende der optischen Faser emittiert wird, wird in zwei Spektralgruppen verteilt und jede der Gruppen wird an das erste Strahlungsthermometer bzw. das zweite Strahlungsthermometer eingeführt, und wobei das erste Strahlungsthermometer das Licht über ein Schmalband-Wellenselektionsfilter empfängt und erfasst, welches die Mittenwellenlänge des eingeführten Lichts auf  $1,55\text{ }\mu\text{m}$  oder in der Nähe dazu macht und was die Übertragungsbandbreite innerhalb eines Bereichs von  $\pm 0,1\text{ }\mu\text{m}$  zu der Mittenwellenlänge macht und das Licht in eine Temperatur umwandelt. Das zweite Strahlungsthermometer empfängt und erfasst das eingeleitete Licht über ein Wellenband-Selektionsfilter, welches das Licht mit einem Wellenband überträgt, welches sich von dem Wellenband unterscheidet, welches von dem zweiten Strahlungsthermometer empfangen und erfasst wird, und wandelt das erfasste Licht in eine Temperatur um. Die Berechnungseinrichtung berechnet die echte Temperatur des Hochtemperatur-Targets auf Grundlage einer spezifizierten Gleichung unter Verwendung der Parameter für eine Temperaturumwandlung, wobei die Parameter spezifisch für jedes der ersten und zweiten Strahlungsparameter ist, und zwar unter Verwendung der Übertragungsinformation der optischen Faser innerhalb jedes Bereichs des Lichtempfangs- und -erfassungswellenbands und unter Verwendung der zwei Anzeigetemperaturen nach einer Temperaturumwandlung, die von jedem der Strahlungsthermometer erzeugt wird. Die Konfiguration ermöglicht eine Beseitigung des Effekts einer verringerten Faserlänge, wobei dieser Effekt das schwerwiegendste Problem eines herkömmlichen Thermometers mit einer verbrauchbaren optischen Faser ist, und ermöglicht die Bestimmung einer Temperatur an einem Hochtemperatur-Target, beispielsweise einem geschmolzenen Metall, kontinuierlich bei einer hohen Genauigkeit, einer hohen Ansprechrate und bei geringen Kos-

ten. Da die Wirtschaftlichkeit durch Ermöglichung der Verwendung einer langen Faser, ungefähr  $1\text{ km}$ , verbessert wird und da die Wartungsfähigkeit durch die Verringerung der Kalibrierungsarbeiten verbessert wird, wird das Anwendungsfeld signifikant verbreitert. Zum Beispiel zeigte ein Eisenherstellungsprozess einen ausgeprägten Effekt einer verbesserten Genauigkeit der Temperaturregelung in dem Wandler, dem elektrischen Ofen, dem Schmelzofen und der Gießwanne beim kontinuierlichen Gießen.

[0193] Gemäß der vorliegenden Erfindung ist das erste Strahlungsthermometer mit einer InGaAs-Photodiode als eine Lichtempfangs- und -erfassungseinrichtung versehen, die Licht empfängt und erfasst, und das zweite Strahlungsthermometer ist mit einer Si-Photodiode als eine Lichtempfangs- und -erfassungseinrichtung versehen, die Licht empfängt und erfasst. Deshalb führen beide von diesen zwei Empfangs- und Erfassungseinrichtungen einen Empfang und eine Erfassung des einfallenden Lichts bei einem guten S/N-Verhältnis aus, während weniger Rauschen erzeugt wird, als die Ge-Photodiode tut, und vermieden wird, dass sie in einen Dunkelstrom selbst bei einer geringen Menge des einfallenden Lichts gemischt wird.

### Patentansprüche

1. Verfahren zum Messen einer Temperatur unter Verwendung einer verbrauchbaren optischen Faser, das die folgenden Schritte aufweist:  
Empfangen eines von einer Flüssigkeit hoher Temperatur emittierten Lichts an einem Ende einer verbrauchbaren optischen Faser, wobei das empfangene Licht durch die verbrauchbare optische Faser zum anderen Ende der verbrauchbaren optischen Faser übertragen wird,  
Aufteilen des empfangenen Lichts in zwei Lichtstrahlen durch ein Verzweigungsfilter,  
Erfassen eines Lichts eines ersten Wellenbandes mit einer ersten Strahlungshelligkeit ( $E_a$ ) von einem ersten Lichtstrahl der zwei Lichtstrahlen durch ein erstes Strahlungsthermometer,  
Umwandeln des Lichts des ersten Wellenbandes in eine Temperatur zum Ausgeben einer ersten Temperatur,  
Erfassen eines Lichts eines zweiten Wellenbandes mit einer zweiten Strahlungshelligkeit ( $E_b$ ) von dem zweiten Lichtstrahl der zwei Lichtstrahlen durch ein zweites Strahlungsthermometer, wobei das zweite Wellenband unterschiedlich vom ersten Wellenband ist,  
Umwandeln des Lichts des zweiten Wellenbandes in eine Temperatur zum Ausgeben einer zweiten Temperatur,  
gekennzeichnet durch  
Berechnen einer wahren Temperatur ( $T$ ) durch Verwenden von:  
ersten empirisch bestimmten Temperatur-Umwandlungs-Parametern ( $A_a$ ,  $B_a$ ), die dem ersten Strah-

lungsthermometer eigen sind, einem ersten Übertragungsverlustindex ( $D_a$ ) im ersten Wellenband durch das erste Strahlungsthermometer, der ausgegebenen ersten Temperatur ( $T_a$ ) vom ersten Strahlungsthermometer, und

zweiten empirisch bestimmten Temperatur-Umwandlungs-Parametern ( $A_b$ ,  $B_b$ ), die dem zweiten Strahlungsthermometer eigen sind, einem zweiten Übertragungsverlustindex ( $D_b$ ) im zweiten Wellenband durch das zweite Strahlungsthermometer und der ausgegebenen zweiten Temperatur ( $T_b$ ) vom zweiten Strahlungsthermometer,

wobei die ersten und zweiten Temperatur-Umwandlungs-Parameter ( $A_a$ ,  $B_a$ ;  $A_b$ ,  $B_b$ ) zum Ausdrücken der Beziehung zwischen der ersten und der zweiten Strahlungshelligkeit ( $E_a$ ,  $E_b$ ) und der ausgegebenen ersten und zweiten Strahlungstemperatur ( $T_a$ ,  $T_b$ ) des ersten und des zweiten Strahlungsthermometers verwendet werden gemäß:

$E_a$  proportional zu einer exponentiellen Funktion mit dem Exponenten  $-1/(A_a T + B_a)$  ist, und

$E_b$  proportional zu einer exponentiellen Funktion mit dem Exponenten  $-1/(A_b T + B_b)$  ist,

wobei

$E_a$ : die erste Strahlungshelligkeit ist,

$E_b$ : die zweite Strahlungshelligkeit ist,

$A_a$ ,  $B_a$ : die ersten empirisch bestimmten Temperatur-Umwandlungs-Parameter sind, die dem ersten Strahlungsthermometer eigen sind,

$A_b$ ,  $B_b$ : die zweiten empirisch bestimmten Temperatur-Umwandlungs-Parameter sind, die dem zweiten Strahlungsthermometer eigen sind,

wobei die wahre Temperatur unter Verwendung der folgenden Gleichung berechnet wird:

$$T = \left[ \frac{1/D_a A_a - 1/D_b A_b}{2(B_a/D_a A_a^2 T_a - B_b/D_b A_b^2 T_b^2)} \right] \div \left[ \frac{1/D_a A_a T_a - 1/D_b A_b T_b}{2(B_a/D_a A_a^2 T_a^2 - B_b/D_b A_b^2 T_b^2)} \right]$$

wobei

$T$ : die wahre Temperatur ist,

$T_a$ : die vom ersten Strahlungsthermometer ausgegebene erste Temperatur ist,

$A_a$ ,  $B_a$ : die ersten Temperatur-Umwandlungs-Parameter sind, die dem ersten Strahlungsthermometer eigen sind,

$D_a$ : der erste Übertragungsverlustindex der optischen Faser durch das erste Strahlungsthermometer ist,

$T_b$ : die vom zweiten Strahlungsthermometer ausgegebene zweite Temperatur ist,

$A_b$ ,  $B_b$ : die zweiten Temperatur-Umwandlungs-Parameter sind, die dem zweiten Strahlungsthermometer eigen sind,

$D_b$ : der zweite Übertragungsverlustindex der optischen Faser durch das zweite Strahlungsthermometer ist.

2. Verfahren zum Messen einer Temperatur unter Verwendung einer verbrauchbaren optischen Faser, das die folgenden Schritte aufweist:

Empfangen eines von einer Flüssigkeit hoher Tempe-

ratur emittierten Lichts an einem Ende einer verbrauchbaren optischen Faser, wobei das empfangene Licht durch die verbrauchbare optische Faser zu dem anderen Ende der verbrauchbaren optischen Faser übertragen wird,

Aufteilen des empfangenen Lichts in zwei Lichtstrahlen durch ein Verzweigungsfilter,

Erfassen eines Lichts eines ersten Wellenbandes mit einer ersten Strahlungshelligkeit ( $E_a$ ) von einem ersten Lichtstrahl der zwei Lichtstrahlen durch ein erstes Strahlungsthermometer,

Umwandeln des Lichts vom ersten Wellenband in eine Temperatur zum Ausgeben einer ersten Temperatur,

Erfassen eines Lichts eines zweiten Wellenbandes mit einer zweiten Strahlungshelligkeit ( $E_b$ ) vom zweiten Lichtstrahl der zwei Lichtstrahlen durch ein zweites Strahlungsthermometer, wobei das zweite Wellenband unterschiedlich vom ersten Wellenband ist, Umwandeln des Lichts des zweiten Wellenbandes in eine Temperatur zum Ausgeben einer zweiten Temperatur,

gekennzeichnet durch

Berechnen einer wahren Temperatur ( $T$ ) durch Verwenden von:

ersten empirisch bestimmten Temperatur-Umwandlungs-Parametern ( $A_a$ ,  $B_a$ ), die dem ersten Strahlungsthermometer eigen sind, einem ersten Übertragungsverlustindex ( $D_a$ ) im ersten Wellenband durch das erste Strahlungsthermometer, der ausgegebenen ersten Temperatur ( $T_a$ ) vom ersten Strahlungsthermometer, und

zweiten empirisch bestimmten Temperatur-Umwandlungs-Parametern ( $A_b$ ,  $B_b$ ), die dem zweiten Strahlungsthermometer eigen sind, einem zweiten Übertragungsverlustindex ( $D_b$ ) im zweiten Wellenband durch das zweite Strahlungsthermometer und der ausgegebenen zweiten Temperatur ( $T_b$ ) vom zweiten Strahlungsthermometer,

wobei die ersten und zweiten Temperatur-Umwandlungs-Parameter ( $A_a$ ,  $B_a$ ;  $A_b$ ,  $B_b$ ) zum Ausdrücken der Beziehung zwischen der ersten und der zweiten Strahlungshelligkeit ( $E_a$ ,  $E_b$ ) und der ausgegebenen ersten und zweiten Strahlungstemperaturen ( $T_a$ ,  $T_b$ ) des ersten und des zweiten Strahlungsthermometers verwendet werden gemäß

$E_a$  proportional zu einer exponentiellen Funktion mit dem Exponenten  $-1/(A_a T + B_a)$  ist, und

$E_b$  proportional zu einer exponentiellen Funktion mit dem Exponenten  $-1/(A_b T + B_b)$  ist,

wobei

$E_a$ : die erste Strahlungshelligkeit ist,

$E_b$ : die zweite Strahlungshelligkeit ist,

$A_a$ ,  $B_a$ : die ersten empirisch bestimmten Temperatur-Umwandlungs-Parameter sind, die dem ersten Strahlungsthermometer eigen sind,

$A_b$ ,  $B_b$ : die zweiten empirisch bestimmten Temperatur-Umwandlungs-Parameter sind, die dem zweiten Strahlungsthermometer eigen sind,

wobei die wahre Temperatur unter Verwendung der

folgenden Gleichung berechnet wird:

$$T = [(1 - 2(B_a/A_a T_a')T_a/D_a A_a - (1 - 2B_b/A_b T_b')T_b D_b A_b)] \div [(1 - 2(B_a/A_a T_a')D_a A_a - (1 - 2B_b/A_b T_b')D_b A_b)]$$

wobei

T: die wahre Temperatur ist,

T<sub>a</sub>: die vom ersten Strahlungsthermometer ausgegebene erste Temperatur ist,

A<sub>a</sub>, B<sub>a</sub>: die ersten Temperatur-Umwandlungs-Parameter sind, die dem ersten Strahlungsthermometer eigen sind,

D<sub>a</sub>: der erste Übertragungsverlustindex der optischen Faser durch das erste Strahlungsthermometer ist,

T<sub>a</sub>': ein Näherungswert ist, der basierend auf einem spezifizierten Messbereich des ersten Strahlungsthermometers eingestellt wird,

T<sub>b</sub>: die vom zweiten Strahlungsthermometer ausgegebene zweite Temperatur ist,

A<sub>b</sub>, B<sub>b</sub>: die zweiten Temperatur-Umwandlungs-Parameter sind, die dem zweiten Strahlungsthermometer eigen sind,

D<sub>b</sub>: der zweite Übertragungsverlustindex der optischen Faser durch das zweite Strahlungsthermometer ist,

T<sub>b</sub>': ein Näherungswert ist, der basierend auf einem spezifizierten Messbereich des zweiten Strahlungsthermometers eingestellt wird.

3. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 2, gekennzeichnet durch

einen ersten Filterschritt zum Filtern eines ersten Lichtstrahls der zwei Lichtstrahlen durch ein erstes selektives Wellenfilter zum Durchlassen von nur einem ersten spektralen Licht mit einer vorbestimmten zentralen Wellenlänge und einem Wellenband, und einen zweiten Filterschritt zum Filtern eines zweiten Lichtstrahls der zwei Lichtstrahlen durch ein zweites selektives Wellenfilter zum Durchlassen von nur einem zweiten spektralen Licht mit einer vorbestimmten zentralen Wellenlänge und einem Wellenband.

4. Verfahren nach Anspruch 3, wobei das erste spektrale Licht die zentrale Wellenlänge von 1,55 µm hat und das Band von 1,55 ± 0,1 µm hat und das zweite spektrale Licht eine Wellenlänge im Bereich von 0,7 bis 1,1 µm hat.

5. Verfahren nach Anspruch 3 oder 4, wobei das erste Strahlungsthermometer eine InGaAs-Fotodiode als die Lichtempfangs- und -erfassungsvorrichtung hat und das zweite Strahlungsthermometer eine Si-Fotodiode als die Lichtempfangs- und -erfassungsvorrichtung hat.

6. Vorrichtung zum Messen einer Temperatur unter Verwendung einer verbrauchbaren optischen Faser, welche Vorrichtung folgendes aufweist:

eine verbrauchbare optische Faser zum Empfangen eines von einer Flüssigkeit hoher Temperatur emittierten

Lichts an einem Ende davon und zum Übertragen des Lichts zum anderen Ende davon, ein Verzweigungsfilter zum Aufteilen des empfangenen Lichts in zwei Lichtstrahlen, ein erstes Strahlungsthermometer zum Erfassen eines Lichts eines ersten Wellenbandes mit einer ersten Strahlungshelligkeit (E<sub>a</sub>) von einem ersten Lichtstrahl der zwei Lichtstrahlen und zum Umwandeln des Lichts des ersten Wellenbandes in eine Temperatur zum Ausgeben einer ersten Temperatur, ein zweites Strahlungsthermometer zum Erfassen eines Lichts eines zweiten Wellenbandes mit einer zweiten Strahlungshelligkeit (E<sub>b</sub>) von einem zweiten Lichtstrahl der zwei Lichtstrahlen und zum Umwandeln des Lichts des zweiten Wellenbandes in eine Temperatur zum Ausgeben einer zweiten Temperatur, wobei das zweite Wellenband unterschiedlich vom ersten Wellenband ist, gekennzeichnet durch

eine Berechnungseinrichtung zum Berechnen einer wahren Temperatur (T) durch Verwenden von: ersten empirisch bestimmten Temperatur-Umwandlungs-Parametern (A<sub>a</sub>, B<sub>a</sub>), die dem ersten Strahlungsthermometer eigen sind, einem ersten Übertragungsverlustindex (D<sub>a</sub>) im ersten Wellenband durch das erste Strahlungsthermometer, der ausgegebenen ersten Temperatur (T<sub>a</sub>) vom ersten Strahlungsthermometer, und zweiten empirisch bestimmten Temperatur-Umwandlungs-Parametern (A<sub>b</sub>, B<sub>b</sub>), die dem zweiten Strahlungsthermometer eigen sind, einem zweiten Übertragungsverlustindex (D<sub>b</sub>) im zweiten Wellenband durch das zweite Strahlungsthermometer und der ausgegebenen zweiten Temperatur (T<sub>b</sub>) vom zweiten Strahlungsthermometer, wobei die ersten und zweiten Temperatur-Umwandlungs-Parameter (A<sub>a</sub>, B<sub>a</sub>; A<sub>b</sub>, B<sub>b</sub>) zum Ausdrücken der Beziehung zwischen der ersten und der zweiten Strahlungshelligkeit (E<sub>a</sub>, E<sub>b</sub>) und der ausgegebenen ersten und der ausgegebenen zweiten Strahlungsthermometer (T<sub>a</sub>, T<sub>b</sub>) des ersten und des zweiten Strahlungsthermometers verwendet werden gemäß: E<sub>a</sub> proportional zu einer exponentiellen Funktion mit dem Exponenten -1/(A<sub>a</sub>T + B<sub>a</sub>) ist, und E<sub>b</sub> proportional zu einer exponentiellen Funktion mit dem Exponenten 1/(A<sub>b</sub>T + B<sub>b</sub>) ist, wobei

E<sub>a</sub>: die erste Strahlungshelligkeit ist,

E<sub>b</sub>: die zweite Strahlungshelligkeit ist,

A<sub>a</sub>, B<sub>a</sub>: die ersten empirisch bestimmten Temperatur-Umwandlungs-Parameter sind, die dem ersten Strahlungsthermometer eigen sind,

A<sub>b</sub>, B<sub>b</sub>: die zweiten empirisch bestimmten Temperatur-Umwandlungs-Parameter sind, die dem zweiten Strahlungsthermometer eigen sind,

wobei die Berechnungseinrichtung die wahre Temperatur unter Verwendung der folgenden Gleichung berechnet:

$$T = (1/D_a A_a - 1/D_b A_b) - 2(B_a/D_a A_a^2 T_a - B_b/D_b A_b^2 T_b)] \div [(1/D_a A_a T_a - 1/D_b A_b T_b) - 2(B_a/D_a A_a^2 T_a^2 - B_b/D_b A_b^2 T_b)]$$

wobei

$T$ : die wahre Temperatur ist,

$T_a$ : die vom ersten Strahlungsthermometer ausgegebene erste Temperatur ist,

$A_a, B_a$ : die ersten Temperatur-Umwandlungs-Parameter sind, die dem ersten Strahlungsthermometer eigen sind,

$D_a$ : der erste Übertragungsverlustindex der optischen Faser durch das erste Strahlungsthermometer ist,

$T_b$ : die vom zweiten Strahlungsthermometer ausgegebene zweite Temperatur ist,

$A_b, B_b$ : die zweiten Temperatur-Umwandlungs-Parameter sind, die dem zweiten Strahlungsthermometer eigen sind,

$D_b$ : der zweite Übertragungsverlustindex der optischen Faser durch das zweite Strahlungsthermometer ist.

7. Vorrichtung zum Messen einer Temperatur unter Verwendung einer verbrauchbaren optischen Faser, welche Vorrichtung folgendes aufweist:

eine verbrauchbare optische Faser zum Empfangen eines von einer Flüssigkeit hoher Temperatur emittierten Lichts an einem Ende davon und zum Übertragen des Lichts zum anderen Ende davon,

ein Verzweigungsfilter zum Aufteilen des empfangenen Lichts in zwei Lichtstrahlen,

ein erstes Strahlungsthermometer zum Erfassen eines Lichts eines ersten Wellenbandes mit einer ersten Strahlungshelligkeit ( $E_a$ ) von einem ersten Lichtstrahl der zwei Lichtstrahlen und zum Umwandeln des Lichts des ersten Wellenbandes in eine Temperatur zum Ausgeben einer ersten Temperatur,

ein zweites Strahlungsthermometer zum Erfassen eines Lichts eines zweiten Wellenbandes mit einer zweiten Strahlungshelligkeit ( $E_b$ ) von einem zweiten Lichtstrahl der zwei Lichtstrahlen und zum Umwandeln des Lichts des zweiten Wellenbandes in eine Temperatur zum Ausgeben einer zweiten Temperatur, wobei das zweite Wellenband unterschiedlich vom ersten Wellenband ist, gekennzeichnet durch:

eine Berechnungseinrichtung zum Berechnen einer wahren Temperatur ( $T$ ) durch Verwenden von:

ersten empirisch bestimmten Temperatur-Umwandlungs-Parametern ( $A_a, B_a$ ), die dem ersten Strahlungsthermometer eigen sind, einem ersten Übertragungsverlustindex ( $D_a$ ) im ersten Wellenband durch das erste Strahlungsthermometer, der ausgegebenen ersten Temperatur ( $T_a$ ) vom ersten Strahlungsthermometer, und

zweiten empirisch bestimmten Temperatur-Umwandlungs-Parametern ( $A_b, B_b$ ), die dem zweiten Strahlungsthermometer eigen sind, einem zweiten Übertragungsverlustindex ( $D_b$ ) im zweiten Wellenband durch das zweite Strahlungsthermometer und der ausgegebenen zweiten Temperatur ( $T_b$ ) vom zweiten Strahlungsthermometer,

wobei die ersten und zweiten Temperatur-Umwandlungs-Parameter ( $A_a, B_a; A_b, B_b$ ) zum Ausdrücken der

Beziehung zwischen der ersten und der zweiten Strahlungshelligkeit ( $E_a, E_b$ ) und der ausgegebenen ersten und zweiten Strahlungstemperaturen ( $T_a, T_b$ ) des ersten und des zweiten Strahlungsthermometers verwendet werden gemäß

$E_a$  proportional zu einer exponentiellen Funktion mit dem Exponenten  $-1/(A_a T + B_a)$  ist, und

$E_b$  proportional zu einer exponentiellen Funktion mit dem Exponenten  $-1/(A_b T + B_b)$  ist,

wobei

$E_a$ : die erste Strahlungshelligkeit ist,

$E_b$ : die zweite Strahlungshelligkeit ist,

$A_a, B_a$ : die ersten empirisch bestimmten Temperatur-Umwandlungs-Parameter sind, die dem ersten Strahlungsthermometer eigen sind,

$A_b, B_b$ : die zweiten empirisch bestimmten Temperatur-Umwandlungs-Parameter sind, die dem zweiten Strahlungsthermometer eigen sind,

wobei die Berechnungseinrichtung die wahre Temperatur unter Verwendung der folgenden Gleichung berechnet:

$$T = [(1 - 2(B_a/A_a T_a')T_a/D_a A_a - (1 - 2B_b/A_b T_b')T_b/D_b A_b) \div [(1 - 2(B_a/A_a T_a')D_a A_a - (1 - 2B_b/A_b T_b')D_b A_b)]$$

wobei

$T$ : die wahre Temperatur ist,

$T_a$ : die vom ersten Strahlungsthermometer ausgegebene erste Temperatur ist,

$A_a, B_a$ : die ersten Temperatur-Umwandlungs-Parameter sind, die dem ersten Strahlungsthermometer eigen sind,

$D_a$ : der erste Übertragungsverlustindex der optischen Faser durch das erste Strahlungsthermometer ist,

$T_a'$ : ein Näherungswert ist, der basierend auf einem spezifizierten Messbereich des ersten Strahlungsthermometers eingestellt wird,

$T_b$ : die vom zweiten Strahlungsthermometer ausgegebene zweite Temperatur ist,

$A_b, B_b$ : die zweiten Temperatur-Umwandlungs-Parameter sind, die dem zweiten Strahlungsthermometer eigen sind,

$D_b$ : der zweite Übertragungsverlustindex der optischen Faser durch das zweite Strahlungsthermometer ist,

$T_b'$ : ein Näherungswert ist, der basierend auf einem spezifizierten Messbereich des zweiten Strahlungsthermometers eingestellt wird.

8. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 6 bis 7, gekennzeichnet durch

ein erstes Filter zum Filtern eines ersten Lichtstrahls der zwei Lichtstrahlen durch ein erstes selektives Wellenfilter zum Durchlassen von nur einem ersten spektralen Licht mit einer vorbestimmten zentralen Wellenlänge und einem Wellenband, und

ein zweites Filter zum Filtern eines zweiten Lichtstrahls der zwei Lichtstrahlen durch ein zweites selektives Wellenfilter zum Durchlassen von nur einem zweiten spektralen Licht mit einer vorbestimmten

zentralen Wellenlänge und einem Wellenband.

9. Vorrichtung nach Anspruch 8, wobei das erste spektrale Licht die zentrale Wellenlänge von  $1,55\text{ }\mu\text{m}$  und das Band von  $1,55 \pm 0,1\text{ }\mu\text{m}$  hat und das zweite spektrale Licht eine Wellenlänge im Bereich von  $0,7$  bis  $1,1\text{ }\mu\text{m}$  hat.

10. Vorrichtung nach Anspruch 8 oder 9, wobei das erste Strahlungsthermometer eine InGaAs-Fotodiode als die Lichtempfangs- und -erfassungsvorrichtung hat und das zweite Strahlungsthermometer eine Si-Fotodiode als die Lichtempfangs- und -erfassungsvorrichtung hat.

Es folgen 9 Blatt Zeichnungen

FIG.1

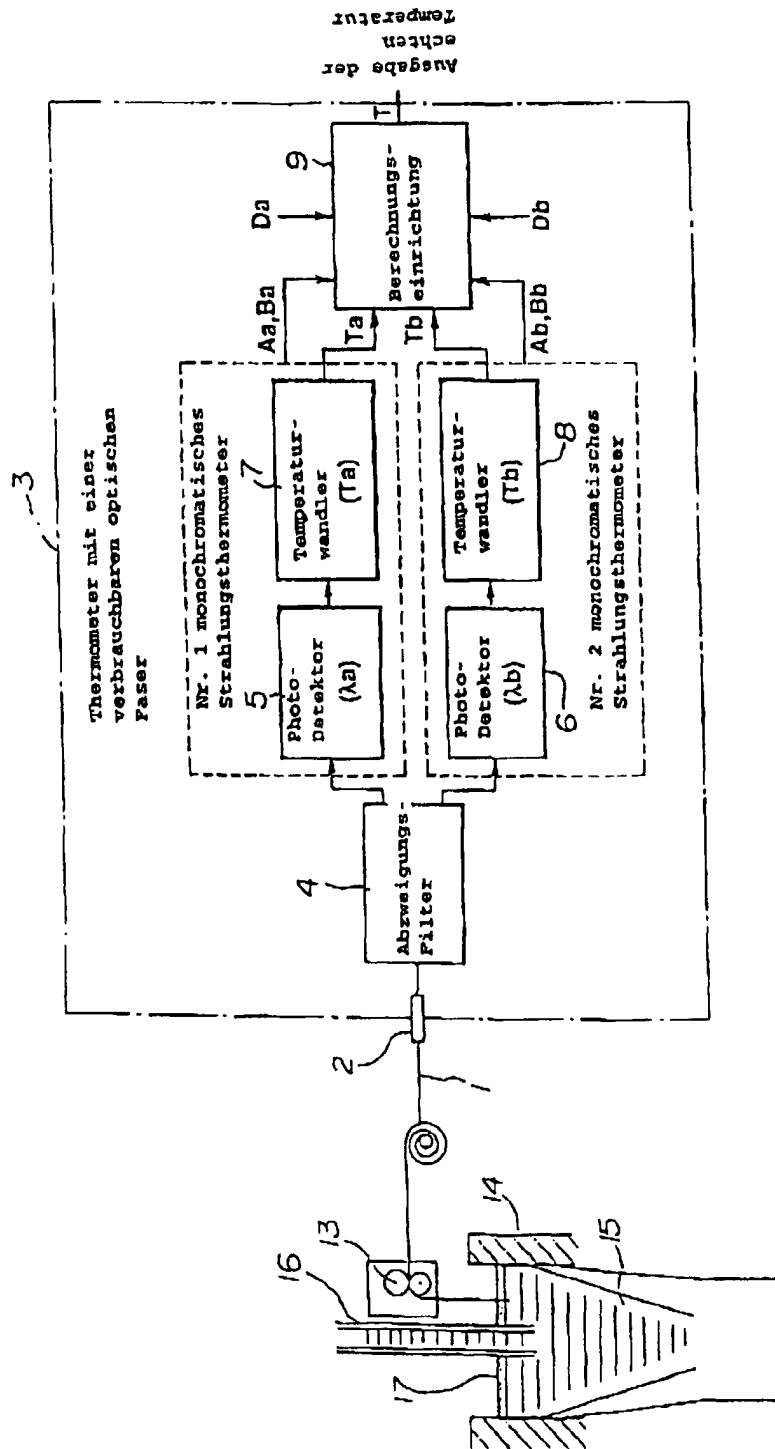




FIG.2

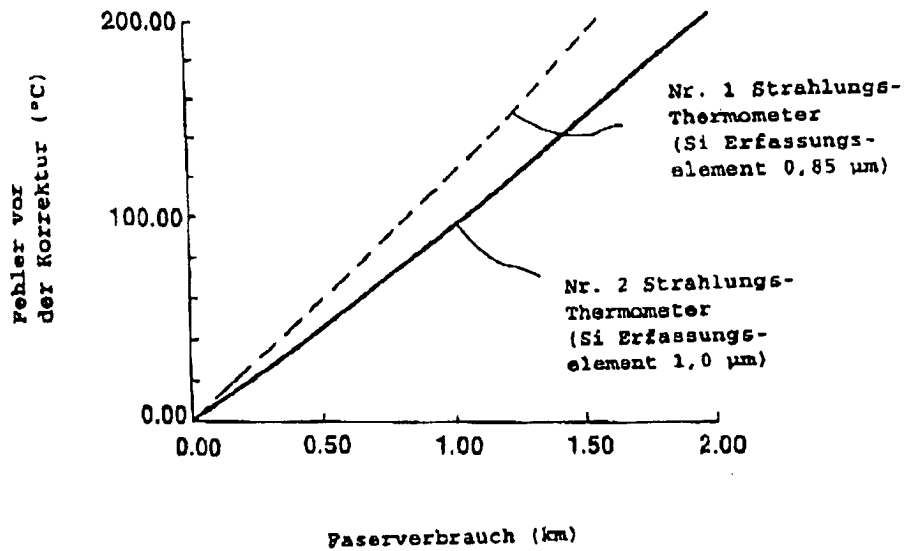


FIG.3

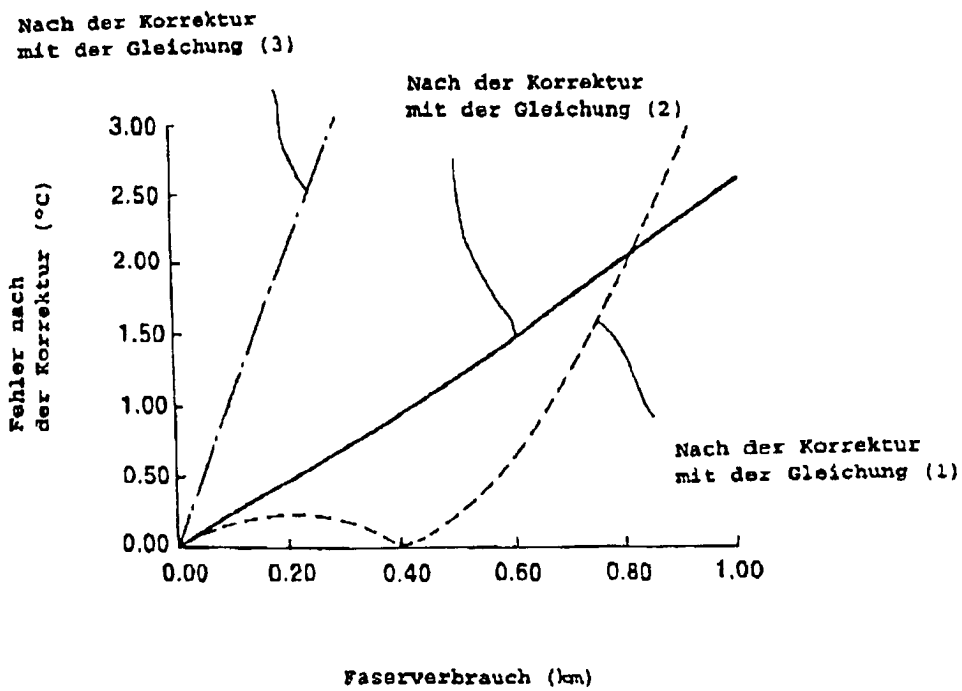
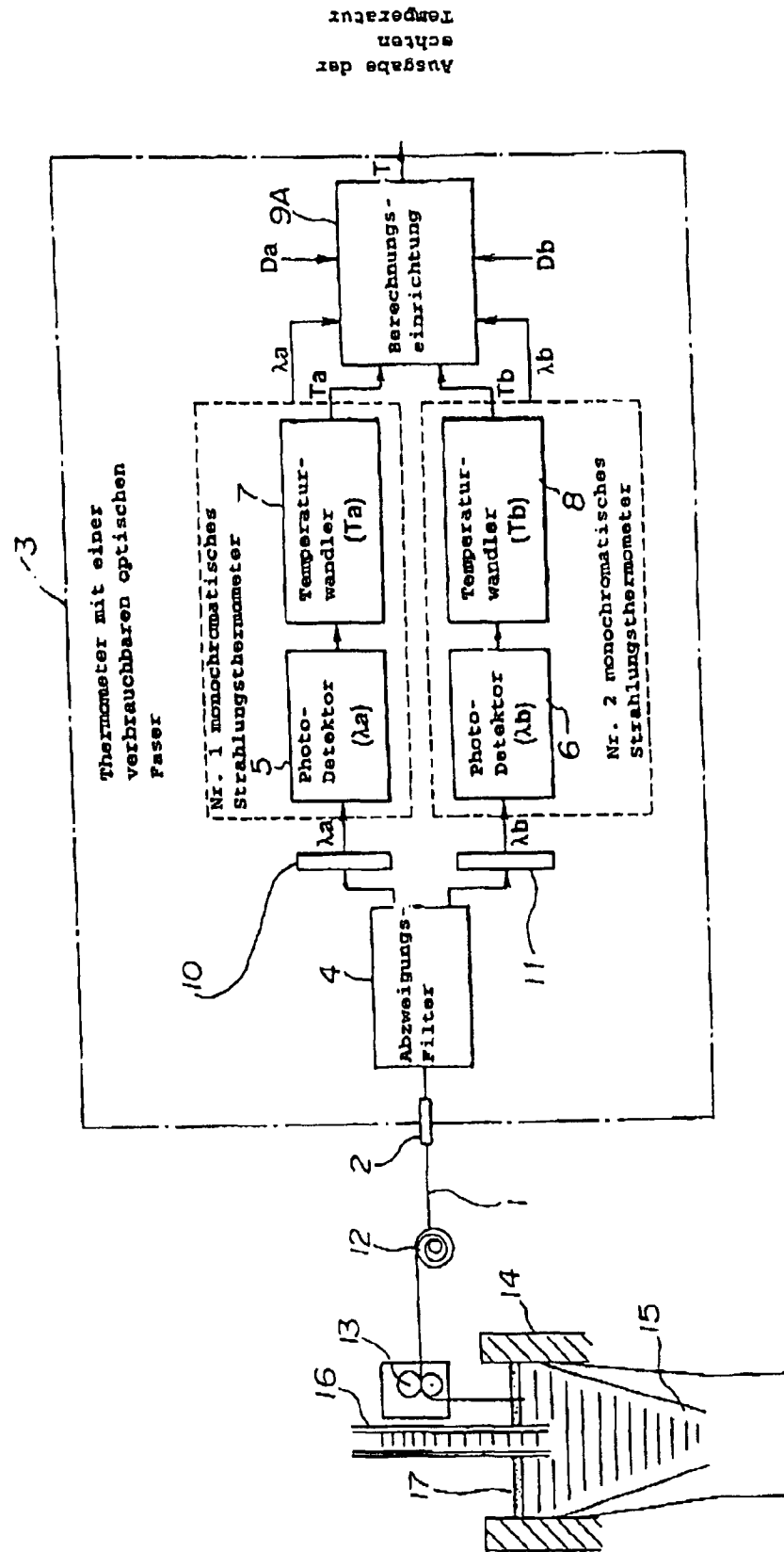
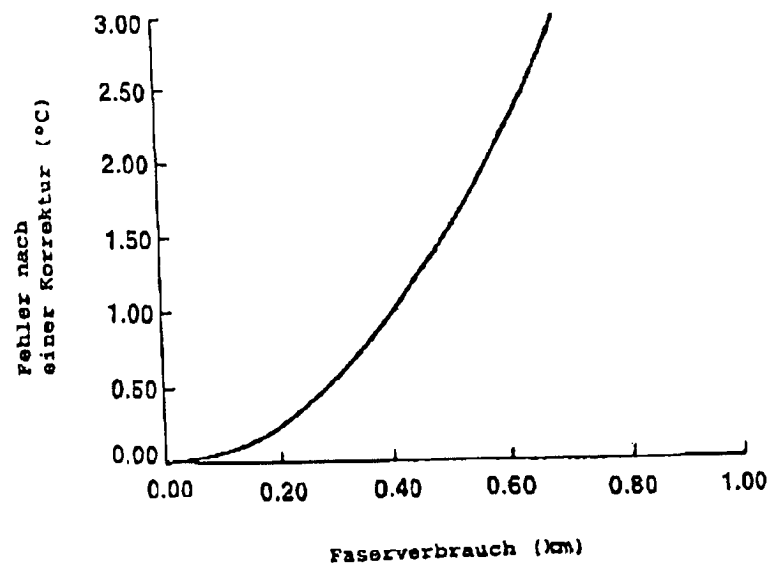


FIG.4



**FIG.5**



**FIG.6**

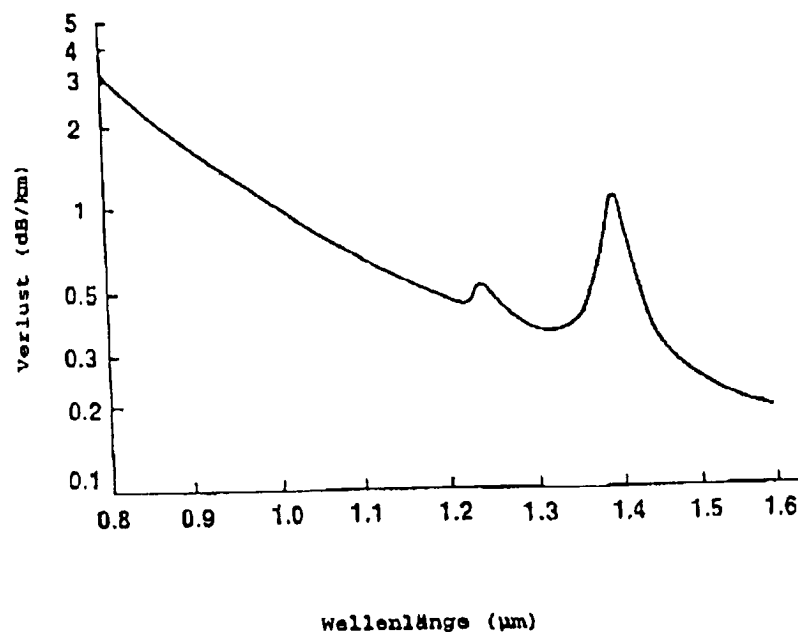


FIG.7

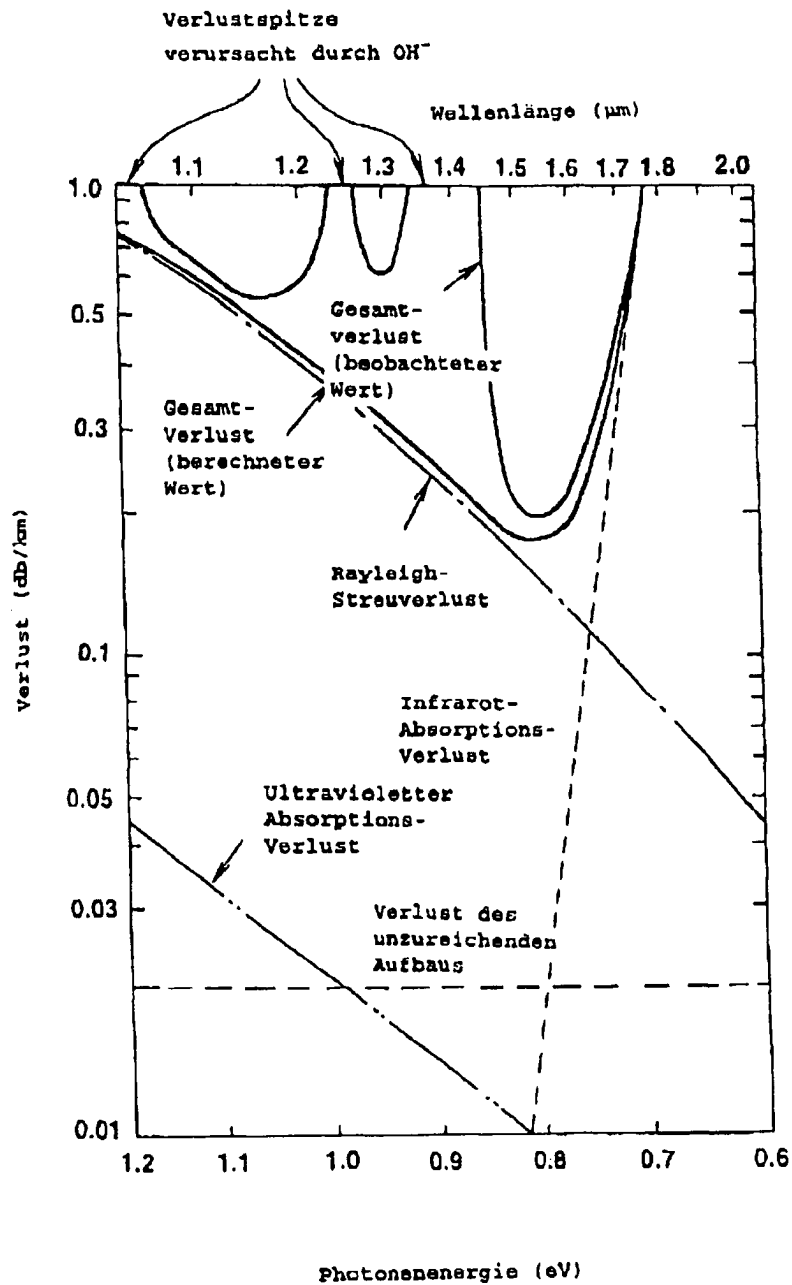


FIG.8

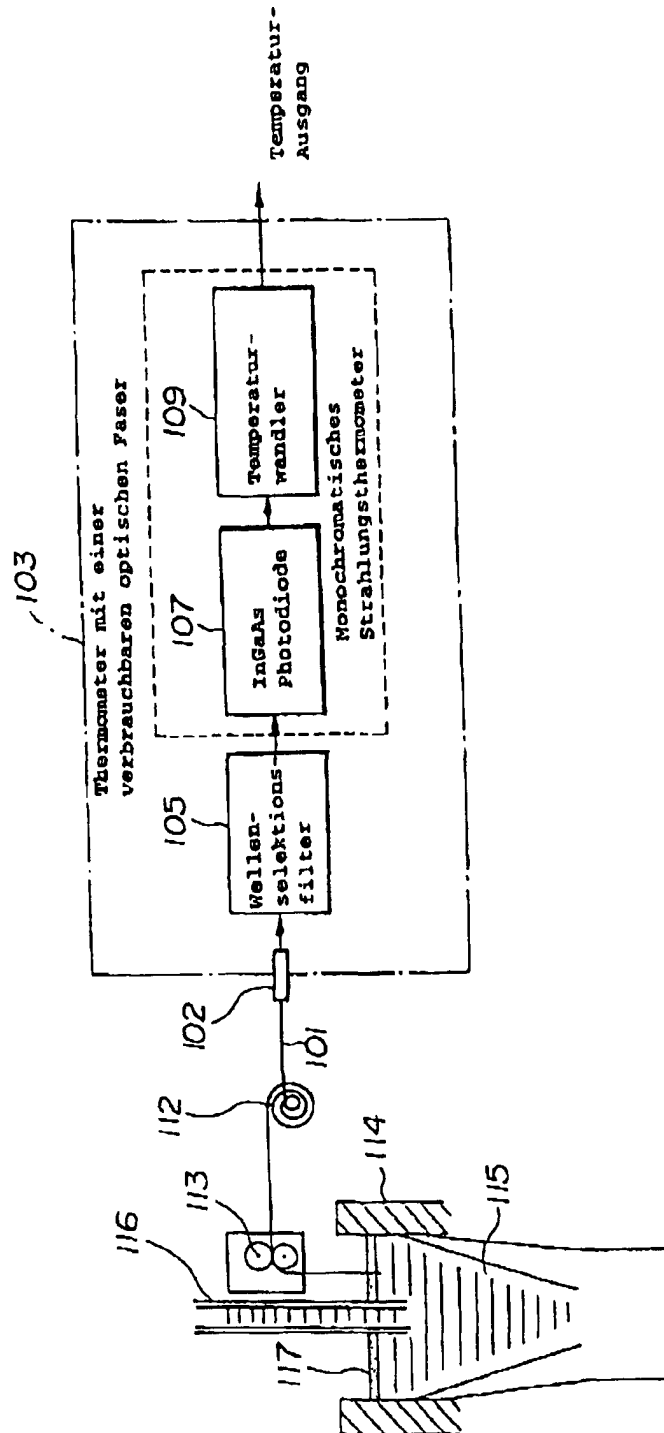


FIG.9

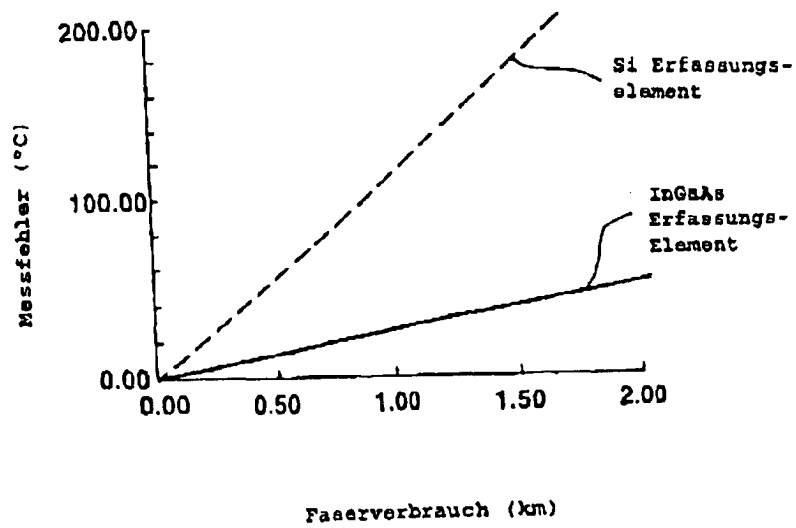
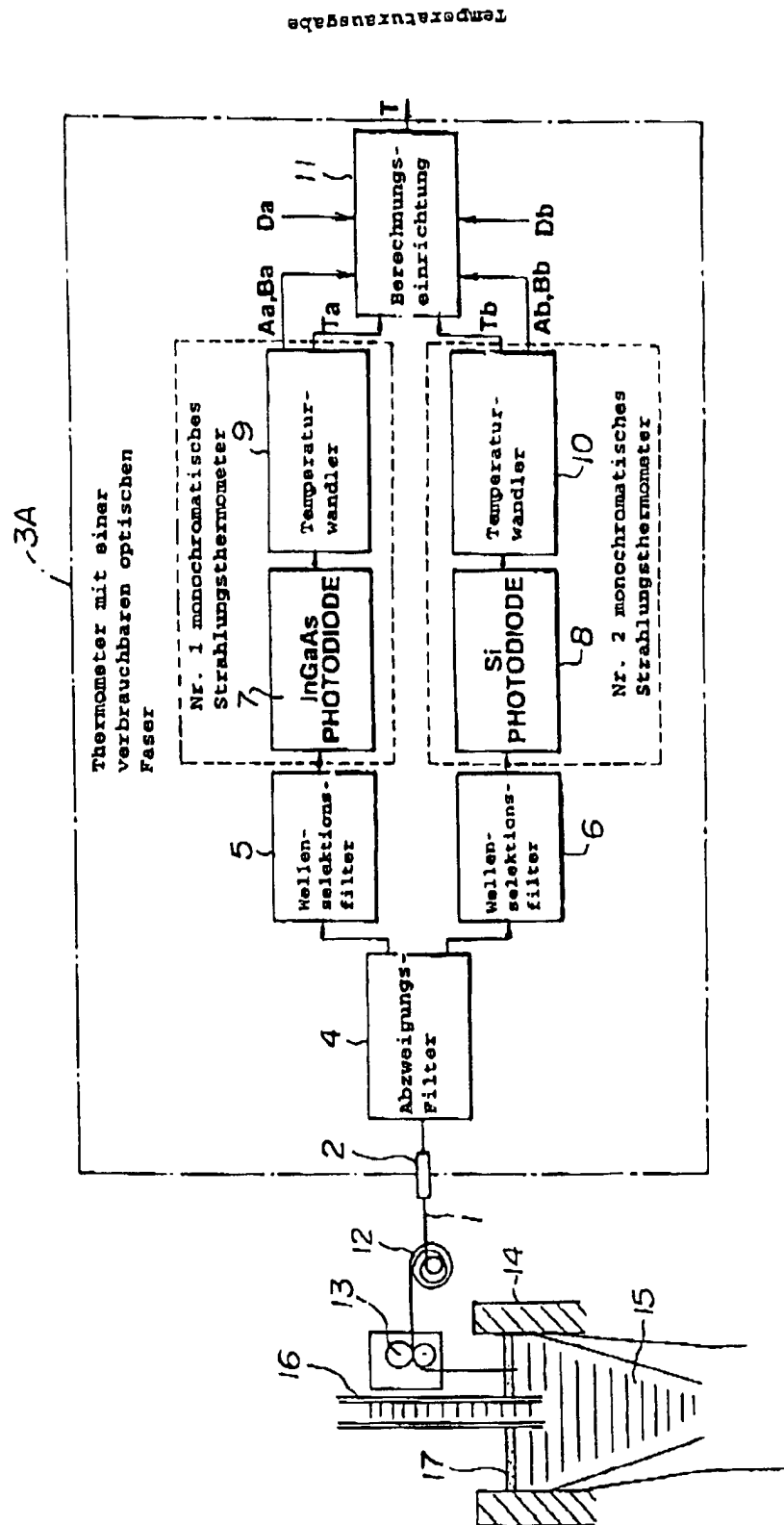
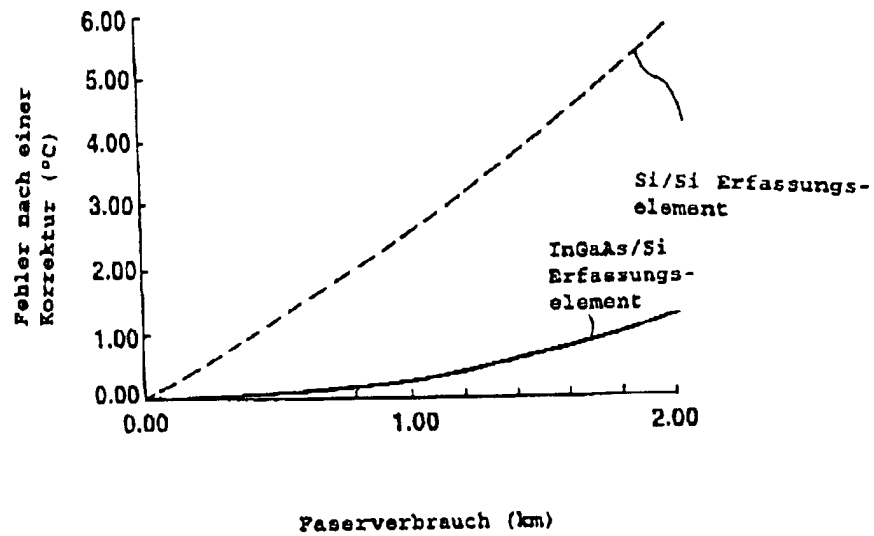


FIG.10



**FIG.11**



**FIG.12**

