

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公表特許公報(A)

(11) 特許出願公表番号

特表2017-505453

(P2017-505453A)

(43) 公表日 平成29年2月16日(2017.2.16)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
G02B 6/13 (2006.01)	G02B 6/13	2H147
B23K 26/53 (2014.01)	B23K 26/53	4E168

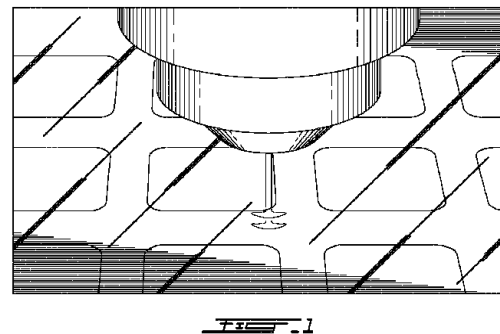
審査請求 未請求 予備審査請求 未請求 (全 34 頁)

(21) 出願番号 特願2016-536122 (P2016-536122) (86) (22) 出願日 平成26年12月3日 (2014.12.3) (85) 翻訳文提出日 平成28年7月12日 (2016.7.12) (86) 国際出願番号 PCT/CA2014/051159 (87) 国際公開番号 W02015/081436 (87) 国際公開日 平成27年6月11日 (2015.6.11) (31) 優先権主張番号 61/911, 148 (32) 優先日 平成25年12月3日 (2013.12.3) (33) 優先権主張国 米国 (US)	(71) 出願人 515207525 ポリヴァロール リミテッド パートナー シップ POLYVALOR, LIMITED PARTNERSHIP カナダ国 ケベック エイチ3ヴィー 1 エイチ8 モントリオール クイーンズメ リー ロード 3535 スイート 22 O (74) 代理人 110001210 特許業務法人YKI 国際特許事務所 (72) 発明者 カシャップ ラマン カナダ ケベック ペ デュルフェ エル ム クレセント 110 最終頁に続く
---	--

(54) 【発明の名称】 メディアガラス基板に刻まれた低損失の光導波路、関連する光学デバイス及びフェムト秒レーザーベースのシステム、並びに導波路を刻む方法

(57) 【要約】

メディアガラス基板に導波路を刻む方法は概して、メディアガラス基板の表面未満の深さにレーザービームの焦点を維持しながら、表面に沿ってフェムト秒レーザービームを相対的に動かすステップを有し、導波路は、導波路の通常の使用時に導波路内を伝播する光信号の波長で測定すると、0.2 dB/cm未満の損失を有する。特に、この方法は、導波路がシングルモードかマルチモードかによって書き込みパラメーターを変更することを有することができる。



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

ガラス基板に導波路を刻む方法であって、

前記ガラス基板の表面から $100\text{ }\mu\text{m}$ 未満の深さに前記レーザービームの焦点を維持しながら、前記表面に沿ってフェムト秒レーザービームを相対的に動かすことを含み、

前記ガラス基板は強化メディアガラスであることを特徴とする方法。

【請求項 2】

ガラス基板に導波路を刻む方法であって、

前記ガラス基板の表面から $100\text{ }\mu\text{m}$ 未満の深さに前記レーザービームの焦点を維持しながら、前記表面に沿ってフェムト秒レーザービームを相対的に動かすことを含み、

前記ガラス基板はアルミノシリケートであることを特徴とする方法。

【請求項 3】

ガラス基板に導波路を刻む方法であって、

前記ガラス基板の表面から所与の深さに前記レーザービームの焦点を維持しながら、前記表面に沿ってフェムト秒レーザービームを相対的に動かすことを含み、

前記導波路は、シングルモードであるとともに、前記導波路の通常の使用時に前記導波路内を伝播する光信号の波長で測定すると、 0.08 dB/cm 未満、好ましくは 0.07 dB/cm 以下、最も好ましくは 0.06 dB/cm 未満の損失を有することを特徴とする方法。

【請求項 4】

ガラス基板に導波路を刻む方法であって、

前記ガラス基板の表面から所与の深さに前記レーザービームの焦点を維持しながら、前記表面に沿ってフェムト秒レーザービームを相対的に動かすことを含み、

前記導波路は、マルチモードであるとともに、前記導波路の通常の使用時に前記導波路内を伝播する光信号の波長で測定すると、 0.08 dB/cm 未満、好ましくは 0.06 dB/cm 以下、最も好ましくは 0.03 dB/cm 未満の損失を有することを特徴とする方法。

【請求項 5】

エバネッセント波センサーの一部として使用するためにガラス基板に導波路を刻む方法であって、

前記ガラス基板の表面から所与の距離未満の深さに前記レーザービームの焦点を維持しながら、前記表面に沿ってフェムト秒レーザービームを相対的に動かすことを含み、

前記所与の距離は、前記エバネッセント波センサーの通常の使用時に前記導波路内を伝播する光信号のエバネッセント波の長さであることを特徴とする方法。

【請求項 6】

ガラス基板に導波路を刻む方法であって、

前記ガラス基板の表面から $45\text{ }\mu\text{m}$ 未満、好ましくは $40\text{ }\mu\text{m}$ 未満、最も好ましくは $35\text{ }\mu\text{m}$ 未満の深さに前記レーザービームの焦点を維持しながら、前記表面に沿ってフェムト秒レーザービームを相対的に動かすことを含むことを特徴とする方法。

【請求項 7】

ガラス基板に導波路を刻む方法であって、

前記導波路が前記ガラス基板の表面に接する深さに前記レーザービームの焦点を維持しながら、前記表面に沿ってフェムト秒レーザービームを相対的に動かすことを含むことを特徴とする方法。

【請求項 8】

請求項 3 又は 4 に記載の方法であって、前記所与の深さは $100\text{ }\mu\text{m}$ 未満であることを特徴とする方法。

【請求項 9】

請求項 2 から 7 のいずれか 1 項に記載の方法であって、前記ガラス基板は強化メディアガラスであることを特徴とする方法。

10

20

30

40

50

【請求項 10】

請求項 8 に記載の方法であって、前記ガラス基板は、イオン交換プロセスを使用して強化されることを特徴とする方法。

【請求項 11】

請求項 1、及び 3 から 10 のいずれか 1 項に記載の方法であって、前記ガラス基板はアルミノシリケートであることを特徴とする方法。

【請求項 12】

請求項 2 又は 11 に記載の方法であって、前記ガラス基板はアルカリアルミノシリケートであることを特徴とする方法。

【請求項 13】

請求項 12 に記載の方法であって、前記ガラス基板は Gorilla (商標) ガラスであることを特徴とする方法。

【請求項 14】

請求項 12 に記載の方法であって、前記ガラス基板は Dragontrail (商標) ガラスであることを特徴とする方法。

【請求項 15】

請求項 2 又は 11 に記載の方法であって、前記ガラス基板はアルカリ土類ボロアルミノシリケートであることを特徴とする方法。

【請求項 16】

請求項 12 に記載の方法であって、前記ガラス基板は EAGLE XG (商標) ガラスであることを特徴とする方法。

【請求項 17】

請求項 1 から 16 のいずれか 1 項に記載の方法であって、前記焦点を合わせたビームの強度は約 10^{13} W/cm^2 であることを特徴とする方法。

【請求項 18】

請求項 1、2、及び 5 から 17 のいずれか 1 項に記載の方法であって、前記導波路は、シングルモードであるとともに、前記導波路の通常の使用時に前記導波路内を伝播する光信号の波長で測定すると、 0.08 dB/cm 未満、好ましくは 0.07 dB/cm 以下、最も好ましくは 0.06 dB/cm 未満の損失を有することを特徴とする方法。

【請求項 19】

請求項 1、2、及び 5 から 17 のいずれか 1 項に記載の方法であって、前記導波路は、マルチモードであるとともに、前記導波路の通常の使用時に前記導波路内を伝播する光信号の波長で測定すると、 0.08 dB/cm 未満、好ましくは 0.06 dB/cm 以下、最も好ましくは 0.03 dB/cm 未満の損失を有することを特徴とする方法。

【請求項 20】

請求項 3、4、18、19 のいずれか 1 項に記載の方法であって、前記損失は 1550 nm で測定されることを特徴とする方法。

【請求項 21】

請求項 1 から 4、及び 6 から 20 のいずれか 1 項に記載の方法であって、前記焦点の深さは、エバネッセント波センサーの通常の使用時に前記導波路内を伝播する光信号の前記エバネッセント波の長さと同じ距離に維持されることを特徴とする方法。

【請求項 22】

請求項 1 から 5、及び 7 から 20 のいずれか 1 項に記載の方法であって、前記深さは、 $45 \mu\text{m}$ 未満、好ましくは $40 \mu\text{m}$ 未満、最も好ましくは $35 \mu\text{m}$ 未満であることを特徴とする方法。

【請求項 23】

請求項 1 から 6、及び 8 から 20 のいずれか 1 項に記載の方法であって、得られる導波路は前記基板の前記表面に接することを特徴とする方法。

【請求項 24】

請求項 3、18 のいずれか 1 項に記載の方法であって、前記フェムト秒レーザービーム

10

20

30

40

50

は、800 kHz から 2000 kHz のパルス繰り返し率と、380 fs から 900 fs のパルス幅と、550 nJ から 1000 nJ のパルスエネルギーとを有し、前記フェムト秒レーザービームは 50 mm/s から 500 mm/s の走査スピードで動かされることを特徴とする方法。

【請求項 25】

請求項 4、19 のいずれか 1 項に記載の方法であって、前記フェムト秒レーザービームは、300 kHz から 900 kHz のパルス繰り返し率と、100 fs から 370 fs のパルス幅と、200 nJ から 500 nJ のパルスエネルギーとを有し、前記フェムト秒レーザービームは 1 mm/s から 14 mm/s の走査スピードで動かされることを特徴とする方法。

10

【請求項 26】

請求項 1、2、5 から 15、及び 20 から 23 のいずれか 1 項に記載の方法であって、前記フェムト秒レーザービームは 300 kHz から 2 MHz のパルス繰り返し率を有することを特徴とする方法。

【請求項 27】

請求項 1 から 26 のいずれか 1 項に記載の方法であって、前記フェムト秒レーザービームは 900 nm から 1550 nm の波長を有することを特徴とする方法。

【請求項 28】

請求項 1 から 27 のいずれか 1 項に記載の方法であって、前記フェムト秒レーザービームは、0.4 から 0.8 の開口数で前記基板上に焦点を合わせられることを特徴とする方法。

20

【請求項 29】

請求項 1、2、5 から 15、及び 20 から 28 のいずれか 1 項に記載の方法であって、前記フェムト秒レーザービームの各パルスは 200 nJ から 1000 nJ のエネルギーを有することを特徴とする方法。

【請求項 30】

請求項 1、2、5 から 15、及び 20 から 29 のいずれか 1 項に記載の方法であって、前記フェムト秒レーザービームの各パルスは 900 fs 未満のパルス幅を有することを特徴とする方法。

【請求項 31】

請求項 1、2、5 から 15、及び 20 から 29 のいずれか 1 項に記載の方法であって、前記レーザービームは 1 mm/s から 500 mm/s の走査スピードで相対的に動かされることを特徴とする方法。

30

【請求項 32】

請求項 1 から 31 のいずれか 1 項に記載の方法であって、前記表面未満の深さで前記フェムト秒レーザービームの焦点を維持することにより前記導波路の位置に前記フェムト秒レーザービームを位置させることによって少なくとも 1 つの散乱部分を刻むことをさらに備え、前記フェムト秒レーザービームは、前記導波路を前記刻む間に提供される単位長さあたりの所与の量のエネルギーと異なる単位長さあたりのある量のエネルギーを前記散乱部分に提供することを特徴とする方法。

40

【請求項 33】

請求項 32 に記載の方法であって、前記導波路に沿って前記導波路内に光信号を注入することと、前記少なくとも 1 つの散乱部分から散乱する散乱された光を測定することと、前記測定された散乱された光に基づいて注入効率を決定することとをさらに備えることを特徴とする方法。

【請求項 34】

強化メディアガラスのガラス基板を備える光学デバイスであって、前記ガラス基板は、ガラスの表面から 100 μ m 未満の深さに刻まれた導波路を有することを特徴とする光学デバイス。

【請求項 35】

50

アルミノシリケートのガラス基板を備える光学デバイスであって、前記ガラス基板は、ガラスの表面から100 μm 未満の深さに刻まれた導波路を有することを特徴とする光学デバイス。

【請求項36】

ガラス基板を備える光学デバイスであって、前記ガラス基板は、ガラスの表面から所与の深さに刻まれた導波路を有し、前記導波路は、シングルモードであるとともに、前記導波路の通常の使用時に前記導波路内を伝播する光信号の波長で測定すると、0.08 dB/cm未満、好ましくは0.07 dB/cm以下、最も好ましくは0.06 dB/cm未満の損失を有することを特徴とする光学デバイス。

【請求項37】

ガラス基板を備える光学デバイスであって、前記ガラス基板は、ガラスの表面から所与の深さに刻まれた導波路を有し、前記導波路は、マルチモードであるとともに、前記導波路の通常の使用時に前記導波路内を伝播する光信号の波長で測定すると、0.08 dB/cm未満、好ましくは0.06 dB/cm以下、最も好ましくは0.03 dB/cm未満の損失を有することを特徴とする光学デバイス。

【請求項38】

ガラス基板を備える光学デバイスであって、前記ガラス基板は、ガラスの表面から所与の深さにフェムト秒レーザーで刻まれた導波路を有し、前記導波路は、その内部に案内された信号のエバネッセント場を、前記導波路の通常の使用時に前記表面を越えて延びることを可能にすることを特徴とする光学デバイス。

【請求項39】

ガラス基板を備える光学デバイスであって、前記ガラス基板は、ガラスの表面から所定の深さに刻まれた導波路を有し、前記所定の深さは、前記表面から45 μm 未満、好ましくは40 μm 未満、最も好ましくは35 μm 未満であることを特徴とする光学デバイス。

【請求項40】

ガラス基板を備える光学デバイスであって、前記ガラス基板は、ある深さでその中に刻まれた導波路を有し、前記導波路は前記表面に接することを特徴とする光学デバイス。

【請求項41】

請求項36又は37に記載の光学デバイスであって、前記所与の深さは100 μm 未満であることを特徴とする光学デバイス。

【請求項42】

請求項35から40のいずれか1項に記載の光学デバイスであって、前記ガラス基板は強化メディアガラスであることを特徴とする光学デバイス。

【請求項43】

請求項42に記載の光学デバイスであって、前記ガラス基板はイオン交換プロセスを使用して強化されることを特徴とする光学デバイス。

【請求項44】

請求項43に記載の光学デバイスであって、前記イオン交換プロセスはカリウムイオンを含むことを特徴とする光学デバイス。

【請求項45】

請求項34、及び36から44のいずれか1項に記載の光学デバイスであって、前記ガラス基板はアルミノシリケートであることを特徴とする光学デバイス。

【請求項46】

請求項35又は45に記載の光学デバイスであって、前記ガラス基板はアルカリアルミノシリケートであることを特徴とする光学デバイス。

【請求項47】

請求項46に記載の光学デバイスであって、前記ガラス基板はGorilla（商標）ガラスであることを特徴とする光学デバイス。

【請求項48】

請求項46に記載の光学デバイスであって、前記ガラス基板はDragontrail

10

20

30

40

50

(商標) ガラスであることを特徴とする光学デバイス。

【請求項 49】

請求項 35 又は 45 に記載の光学デバイスであって、前記ガラス基板はアルカリ土類ボロアルミノシリケートであることを特徴とする光学デバイス。

【請求項 50】

請求項 46 に記載の光学デバイスであって、前記ガラス基板は E A G L E X G (商標) ガラスであることを特徴とする光学デバイス。

【請求項 51】

請求項 34、35、及び 38 から 50 のいずれか 1 項に記載の光学デバイスであって、前記導波路は、シングルモードであるとともに、前記導波路の通常の使用時に前記導波路内を伝播する光信号の波長で測定すると、0.08 dB/cm 未満、好ましくは 0.07 dB/cm 以下、最も好ましくは 0.06 dB/cm 未満の損失を有することを特徴とする光学デバイス。

10

【請求項 52】

請求項 34 から 35、及び 38 から 50 のいずれか 1 項に記載の光学デバイスであって、前記導波路は、マルチモードであるとともに、前記導波路の通常の使用時に前記導波路内を伝播する光信号の波長で測定すると、0.08 dB/cm 未満、好ましくは 0.06 dB/cm 以下、最も好ましくは 0.03 dB/cm 未満の損失を有することを特徴とする光学デバイス。

【請求項 53】

20

請求項 36、37、51、52 のいずれか 1 項に記載の光学デバイスであって、前記損失は 1550 nm で測定されることを特徴とする光学デバイス。

【請求項 54】

請求項 34 から 38、及び 40 から 53 のいずれか 1 項に記載の光学デバイスであって、前記深さは、45 µm 未満、好ましくは 40 µm 未満、最も好ましくは 35 µm 未満であることを特徴とする光学デバイス。

【請求項 55】

請求項 34 から 39、及び 41 から 53 のいずれか 1 項に記載の光学デバイスであって、得られる導波路は前記基板の前記表面に接することを特徴とする光学デバイス。

【請求項 56】

30

請求項 34 から 55 のいずれか 1 項に記載の光学デバイスであって、前記表面未満の深さで前記フェムト秒レーザービームの焦点を維持することにより前記導波路の位置に前記フェムト秒レーザービームを位置させることによって少なくとも 1 つの散乱部分を刻むことをさらに備え、前記フェムト秒レーザービームは、前記導波路を前記刻む間に提供される単位長さあたりの所与の量のエネルギーと異なる単位長さあたりのある量のエネルギーを前記散乱部分に提供することを特徴とする光学デバイス。

【請求項 57】

請求項 34 から 56 のいずれか 1 項に記載の光学デバイスであって、前記表面は消耗していないことを特徴とする光学デバイス。

【請求項 58】

40

ガラス基板に導波路を刻む方法であって、

前記ガラス基板の表面未満の深さに前記レーザービームの焦点を維持しながら、前記表面に沿って第 1 の長さだけレーザービームを相対的に動かすことによって第 1 の導波路部分を刻むことであって、前記レーザービームは、前記第 1 の導波路部分の単位長さあたりの第 1 の量のエネルギーを提供する、第 1 の導波路部分を刻むことと、

前記表面未満の深さに前記レーザービームの焦点を維持しながら、前記第 1 の導波路部分の端部にレーザービームを位置させることの 1 つによって第 1 の散乱部分を刻むことであって、前記レーザービームは、単位長さあたりの前記第 1 の量のエネルギーとは異なる、前記第 1 の導波路部分の単位長さあたりの第 2 の量のエネルギーを提供する、第 1 の散乱部分を刻むことと、

50

前記ガラス基板の前記表面未満の深さに前記レーザービームの焦点を維持しながら、前記表面に沿って第3の長さだけレーザービームを相対的に動かすことであって、前記レーザービームは、前記第1の導波路部分の単位長さあたりの前記第1の量のエネルギーを提供する、相対的に動かすこととを備えることを特徴とする方法。

【請求項59】

請求項58に記載の方法であって、前記第1、第2及び第3の長さは、所与の湾曲の半径のまわりに、湾曲した構成で配置されていることを特徴とする方法。

【請求項60】

請求項59に記載の方法であって、前記湾曲した構成は、前記ガラスの表面の平面と平行な平面内を延びることを特徴とする方法。

【請求項61】

請求項59に記載の方法であって、前記湾曲した構成は、前記ガラスの表面に向かって延びることを特徴とする方法。

【請求項62】

請求項58に記載の方法であって、単位長さあたりの前記第2の量のエネルギーは、単位長さあたりの前記第1の量のエネルギーよりも高いことを特徴とする方法。

【請求項63】

請求項58に記載の方法であって、前記ガラス基板の前記表面未満の前記深さに前記レーザービームの焦点を維持しながら、前記表面に沿って所与の第2の長さだけ前記第1の散乱部分からレーザービームを相対的に動かすことによって第2の導波路部分を刻むことをさらに備え、前記レーザービームは、前記第1の導波路部分の単位長さあたりの前記第1の量のエネルギーを提供することを特徴とする方法。

【請求項64】

請求項58に記載の方法であって、前記表面未満の前記深さで前記レーザービームの焦点を維持しながら、前記第1の導波路部分の端部にレーザービームを位置させることの1つにより第2の散乱部分を刻むことであって、前記レーザービームは、単位長さあたりの前記第1の量のエネルギーとは異なる、前記第1の散乱部分の単位長さあたりの第3の量のエネルギーを提供する、第2の散乱部分を刻むことと、前記ガラス基板の表面未満の前記深さで前記レーザービームの焦点を維持しながら、前記表面に沿って湾曲した長さだけレーザービームを相対的に動かすことであって、前記レーザービームは、前記第1の導波路部分の単位長さあたりの前記第1の量のエネルギーを提供する、相対的に動かすことをさらに備えることを特徴とする方法。

【請求項65】

請求項58に記載の方法であって、前記第1の導波路部分を刻むこと及び前記第1の散乱部分を刻むことは連続して行われ、前記導波路は、複数の散乱部分を有する複数の導波路部分を有し、前記複数の散乱部分は、前記導波路部分の対応するものの間に位置することを特徴とする方法。

【請求項66】

請求項58に記載の方法であって、前記散乱部分は、互いに関する特徴的な構成に配置されることを特徴とする方法。

【請求項67】

請求項58に記載の方法であって、前記導波路内に前記導波路に沿って光信号を伝播させることと、前記導波路内に前記導波路に沿って前記光信号を伝播させながら前記導波路の前記散乱部分から散乱する散乱された光を測定することと、前記測定された散乱された光を空間パターンに関連付けることと、前記空間パターンが前記導波路に関連するかどうかを決定することとをさらに備えることを特徴とする方法。

【請求項68】

請求項58から67のいずれか1項に記載の方法であって、前記導波路は、シングルモードであるとともに、前記導波路の通常の使用時に前記導波路内を伝播する光信号の波長

10

20

30

40

50

で測定すると、 0.08 dB/cm 未満、好ましくは 0.07 dB/cm 以下、最も好ましくは 0.06 dB/cm 未満の損失を有することを特徴とする方法。

【請求項 69】

請求項 58 から 67 のいずれか 1 項に記載の方法であって、前記導波路は、マルチモードであるとともに、前記導波路の通常の使用時に前記導波路内を伝播する光信号の波長で測定すると、 0.08 dB/cm 未満、好ましくは 0.06 dB/cm 以下、最も好ましくは 0.03 dB/cm 未満の損失を有することを特徴とする方法。

【請求項 70】

請求項 68 又は 69 に記載の方法であって、前記散乱部分のそれぞれは、散乱部分ごとに 0.1 dB を超える損失、好ましくは散乱部分ごとに 0.2 dB 以上の損失を有することを特徴とする方法。

10

【請求項 71】

ガラス基板を備える光学デバイスであって、
前記ガラス基板は、
前記ガラス基板の表面の経路に沿って刻まれた複数の導波路部分と、
前記ガラス基板の前記表面の前記経路に沿って刻まれるとともに前記複数の導波路部分に散在する複数の散乱部分と
を有することを特徴とする光学デバイス。

【請求項 72】

請求項 71 に記載の光学デバイスであって、前記複数の導波路部分は、前記表面からある深さに前記レーザービームの焦点を維持しながら、レーザービームを相対的に動かすことによって得られ、前記複数の導波路部分は、前記レーザービームを使用して前記導波路の単位長さあたりのある量のエネルギーを提供することによって前記ガラス基板に刻まれることを特徴とする光学デバイス。

20

【請求項 73】

請求項 71 に記載の光学デバイスであって、前記複数の散乱部分の少なくとも 1 つは、前記表面から前記深さに前記レーザービームの焦点を維持しながら、前記導波路上にレーザービームを位置させることによって得られ、前記複数の散乱部分は、前記レーザービームを使用して前記導波路の単位長さあたりの第 2 の量のエネルギーを提供することによって前記ガラス基板に刻まれ、前記第 2 の量のエネルギーは、単位長さあたりの前記量のエネルギーとは異なることを特徴とする光学デバイス。

30

【請求項 74】

請求項 71 に記載の光学デバイスであって、前記複数の散乱部分の少なくとも 1 つは、前記表面から前記深さに前記レーザービームの焦点を維持しながら、レーザービームを湾曲させて相対的に動かすことによって得られ、前記複数の導波路部分は、単位長さあたりの前記量のエネルギーを提供することによって前記ガラス基板に刻まれることを特徴とする光学デバイス。

【請求項 75】

ある光学デバイスを別の光学デバイスから区別するシステムであって、
複数の光学デバイスを備え、前記複数の光学デバイスのそれぞれはガラス基板を有し、
前記ガラス基板は、
前記ガラス基板の表面の経路に沿って刻まれた複数の導波路部分、及び
前記ガラス基板の前記表面の前記経路に沿って刻まれるとともに前記複数の導波路部分に散在する複数の散乱部分
を有する導波路と、
前記導波路の一端に接続された光学信号発生器であって、前記導波路部分に沿って前記導波路部分内に伝播されるとともに前記導波路の前記複数の散乱部分を通る光学信号を発生する光学信号発生器と
を有し、
前記散乱部分のそれぞれは、前記光学信号の対応する部分を前記ガラス基板の外側へ散

40

50

乱させて、前記複数の散乱部分の特徴的な構成に基づいて、特徴的な散乱された光学信号を形成し、

前記システムはさらに、

前記複数の光学デバイスの少なくとも1つの前記特徴的な散乱された光学信号を測定するセンサーと、

前記散乱された光学信号を受信するとともに前記複数の光学デバイスの対応する1つに前記特徴的な散乱された光学信号を関連付ける、前記センサーに接続されたコンピューターと

を有することを特徴とするシステム。

【請求項76】

請求項75に記載のシステムであって、前記複数の導波路部分は、前記表面からある深さに前記レーザービームの焦点を維持しながら、レーザービームを相対的に動かすことによって得られ、前記複数の導波路部分は、前記レーザービームを使用して、前記導波路の単位長さあたりのある量のエネルギーを提供することによって前記ガラス基板に刻まれることを特徴とするシステム。

【請求項77】

請求項75に記載のシステムであって、前記複数の散乱部分の少なくとも1つは、前記表面から前記深さに前記レーザービームの焦点を維持しながら、前記導波路上にレーザービームを位置させることによって得られ、前記複数の散乱部分は、前記レーザービームを使用して前記導波路の単位長さあたりの第2の量のエネルギーを提供することによって前記ガラス基板に刻まれ、前記第2の量のエネルギーは、単位長さあたりの前記量のエネルギーとは異なることを特徴とするシステム。

【請求項78】

請求項75に記載のシステムであって、前記複数の散乱部分の少なくとも1つは、前記表面から前記深さに前記レーザービームの焦点を維持しながら、レーザービームを湾曲させて相対的に動かすことによって得られ、前記複数の導波路部分は、単位長さあたりの前記量のエネルギーを提供することによって前記ガラス基板に刻まれることを特徴とするシステム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、メディアガラス基板に刻まれた低損失の光導波路に関する。

【背景技術】

【0002】

フェムト秒レーザーを使用してガラス基板に導波路を書き込むことが知られていた。しかし、これらの導波路は、その中における光の伝播を抑制する高損失を典型的に示すので、光デバイスには適切ではない。さらに、表面により近づいて導波路を書き込むことはガラス基板の破壊につながる可能性があるので、ガラスに深く導波路を書き込むことが知られていた。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

【特許文献1】 米国特許出願公開第2013/0208358号

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

既存の技術はある程度は満足のものではあったが、特にフェムト秒レーザーを使用して低損失の導波路を書き込む点、フェムト秒レーザーを使用してガラス基板の表面により近づいて導波路を書き込む点で改善の余地があった。表面近くの導波路を使用するエバネッセント波センサーを提供することと、コード化導波路でガラス基板を暗号化する方法

10

20

30

40

50

及びシステムを提供することとの点でも改善の余地があった。

【課題を解決するための手段】

【0005】

1つの態様によれば、ガラス基板に導波路を刻む方法が提供され、この方法は、ガラス基板の表面から100 μ m未満の深さにレーザービームの焦点を維持しながら、表面に沿ってフェムト秒レーザービームを相対的に動かすことを含み、ガラス基板は強化メディアガラスである。

【0006】

別の態様によれば、ガラス基板に導波路を刻む方法が提供され、この方法は、ガラス基板の表面から100 μ m未満の深さにレーザービームの焦点を維持しながら、表面に沿ってフェムト秒レーザービームを相対的に動かすことを含み、ガラス基板はアルミノシリケートである。

10

【0007】

別の態様によれば、ガラス基板に導波路を刻む方法が提供され、この方法は、ガラス基板の表面から所与の深さにレーザービームの焦点を維持しながら、表面に沿ってフェムト秒レーザービームを相対的に動かすことを含み、導波路は、シングルモードであるとともに、導波路の通常の使用時に導波路内を伝播する光信号の波長で測定すると、0.08 dB/cm未満、好ましくは0.07 dB/cm以下、最も好ましくは0.06 dB/cm未満の損失を有する。

【0008】

20

別の態様によれば、ガラス基板に導波路を刻む方法が提供され、この方法は、ガラス基板の表面から所与の深さにレーザービームの焦点を維持しながら、表面に沿ってフェムト秒レーザービームを相対的に動かすことを含み、導波路は、マルチモードであるとともに、導波路の通常の使用時に導波路内を伝播する光信号の波長で測定すると、0.08 dB/cm未満、好ましくは0.06 dB/cm以下、最も好ましくは0.03 dB/cm未満の損失を有する。

【0009】

別の態様によれば、エバネッセント波センサーの一部として使用するためにガラス基板に導波路を刻む方法が提供され、この方法は、ガラス基板の表面から所与の距離未満の深さにレーザービームの焦点を維持しながら、表面に沿ってフェムト秒レーザービームを相対的に動かすことを含み、所与の距離は、エバネッセント波センサーの通常の使用時に導波路内を伝播する光信号のエバネッセント波の長さである。

30

【0010】

別の態様によれば、ガラス基板に導波路を刻む方法が提供され、この方法は、ガラス基板の表面から45 μ m未満、好ましくは40 μ m未満、最も好ましくは35 μ m未満の深さにレーザービームの焦点を維持しながら、表面に沿ってフェムト秒レーザービームを相対的に動かすことを含む。

【0011】

別の態様によれば、ガラス基板に導波路を刻む方法が提供され、この方法は、導波路がガラス基板の表面に接する深さにレーザービームの焦点を維持しながら、表面に沿ってフェムト秒レーザービームを相対的に動かすことを含む。

40

【0012】

別の態様によれば、光学デバイスが提供され、光学デバイスは強化メディアガラスのガラス基板を備え、ガラス基板は、ガラスの表面から100 μ m未満の深さに刻まれた導波路を有する。

【0013】

別の態様によれば、光学デバイスが提供され、光学デバイスはアルミノシリケートのガラス基板を備え、ガラス基板は、ガラスの表面から100 μ m未満の深さに刻まれた導波路を有する。

【0014】

50

別の態様によれば、光学デバイスが提供され、光学デバイスはガラス基板を備え、ガラス基板は、ガラスの表面から所定の深さに刻まれた導波路を有し、導波路は、シングルモードであるとともに、導波路の通常の使用時に導波路内を伝播する光信号の波長で測定すると、 0.08 dB/cm 未満、好ましくは 0.07 dB/cm 以下、最も好ましくは 0.06 dB/cm 未満の損失を有する。

【0015】

別の態様によれば、光学デバイスが提供され、光学デバイスはガラス基板を備え、ガラス基板は、ガラスの表面から所定の深さに刻まれた導波路を有し、導波路は、マルチモードであるとともに、導波路の通常の使用時に導波路内を伝播する光信号の波長で測定すると、 0.08 dB/cm 未満、好ましくは 0.06 dB/cm 以下、最も好ましくは 0.03 dB/cm 未満の損失を有する。

10

【0016】

別の態様によれば、光学デバイスが提供され、光学デバイスはガラス基板を備え、ガラス基板は、ガラスの表面からある深さにフェムト秒レーザーで刻まれた導波路を有し、導波路は、その内部に案内された信号のエバネッセント場を、導波路の通常の使用時に表面を越えて延びることを可能にさせる。

【0017】

別の態様によれば、光学デバイスが提供され、光学デバイスはガラス基板を備え、ガラス基板は、ガラスの表面から所定の深さに刻まれた導波路を有し、所定の深さは、表面から $45 \mu\text{m}$ 未満、好ましくは $40 \mu\text{m}$ 未満、最も好ましくは $35 \mu\text{m}$ 未満である。

20

【0018】

別の態様によれば、光学デバイスが提供され、光学デバイスはガラス基板を備え、ガラス基板は、ある深さに刻まれた導波路を有し、導波路は表面に接する。

【0019】

別の態様によれば、ガラス基板に導波路を刻む方法が提供され、この方法は、ガラス基板の表面未満の深さにレーザービームの焦点を維持しながら、表面に沿ってフェムト秒レーザービームを相対的に動かすことを含み、導波路は、導波路の通常の使用時に導波路内を伝播する光信号の波長で測定すると、 0.2 dB/cm 未満の損失を有する。

【0020】

別の態様によれば、ガラス基板に導波路を刻む方法が提供され、この方法は、ガラス基板の表面未満の深さにレーザービームの焦点を維持しながら、表面に沿って第1の長さだけレーザービームを相対的に動かすことによって第1の導波路部分を刻むことであって、レーザービームは、第1の導波路部分の単位長さに対する第1の量のエネルギーを提供する、第1の導波路部分を刻むことと、表面未満の深さにレーザービームの焦点を維持しながら、第1の導波路部分の端部にレーザービームを位置させることの1つによって第1の散乱部分を刻むことであって、レーザービームは、単位長さあたりの第1の量のエネルギーとは異なる、第1の散乱部分の単位長さあたりの第2の量のエネルギーを提供する、第1の散乱部分を刻むことと、ガラス基板の表面未満の深さにレーザービームの焦点を維持しながら、表面に沿って第3の長さだけレーザービームを相対的に動かすことであって、レーザービームは、第1の導波路部分の単位長さあたりの第1の量のエネルギーを提供する、相対的に動かすことを備える。

30

40

【0021】

別の態様によれば、光学デバイスが提供され、光学デバイスはガラス基板を備え、ガラス基板は、ガラス基板の表面の経路に沿って刻まれた複数の導波路部分と、ガラス基板の表面の経路に沿って刻まれるとともに複数の導波路部分に散在する複数の散乱部分とを有する。

【0022】

別の態様によれば、ある光学デバイスを別の光学デバイスから区別するシステムが提供され、このシステムは複数の光学デバイスを備え、複数の光学デバイスのそれぞれはガラス基板を有し、ガラス基板は、ガラス基板の表面の経路に沿って刻まれた複数の導波路部

50

分、及びガラス基板の表面の経路に沿って刻まれるとともに複数の導波路部分に散在する複数の散乱部分を有する導波路と、導波路の一端に接続された光学信号発生器であって、導波路部分に沿って導波路部分内に伝播されるとともに導波路の複数の散乱部分を通る光学信号を発生する光学信号発生器とを有し、散乱部分のそれぞれは、光学信号の対応する部分をガラス基板の外側へ散乱させて、複数の散乱部分の特徴的な構成に基づいて、特徴的な散乱された光学信号を形成し、システムはさらに、複数の光学デバイスの少なくとも1つの特徴的な散乱された光学信号を測定するセンサーと、散乱された光学信号を受信するとともに複数の光学デバイスの対応する1つに特徴的な散乱された光学信号を関連付ける、センサーに接続されたコンピューターを有する。

【0023】

本改善に関する多くのさらなる特徴及びこれらの組み合わせは、本開示を読むに従って当業者に明らかになるであろう。

【0024】

図面は以下である。

【図面の簡単な説明】

【0025】

【図1】スマートフォンの強化ガラス基板上にフェムト秒レーザービームの焦点を合わせる合焦デバイスの例を示す図である。

【図2】レーザービーム発生器と、合焦デバイスと、移動デバイスと、強化メディアガラス基板とを有する、導波路を刻むシステムの例を図解するブロックダイアグラムである。

【図3A】合焦デバイスを含む移動デバイスを有する、導波路を刻むシステムの例を図解するブロックダイアグラムである。

【図3B】ガラス基板を含む移動デバイスを有する、導波路を刻むシステムの例を図解するブロックダイアグラムである。

【図4】焦点を合わされたビームに対して刻まれた導波路を有するガラス基板の例を図解するブロックダイアグラムである。

【図5A】強化メディアガラス基板に刻まれたマルチモードの導波路の例を示す図である。

【図5B】強化メディアガラス基板に刻まれたシングルモードの導波路の例を示す図と、シングルモードの導波路の近接場モードのプロファイルの図である。

【図6A】ソーダ石灰ガラス基板の表面から25 μm の距離で刻まれた導波路の例を示す図である。

【図6B】ソーダ石灰ガラス基板の表面からある距離で刻まれた導波路の例を示す図である。

【図6C】強化メディアガラス基板の表面から25 μm の距離で刻まれた導波路の例を示す図である。

【図6D】強化メディアガラス基板の表面からある距離で刻まれた導波路の例を示す図である。

【図6E】図6Cの導波路の近接場モードのプロファイルの図を示す一方で、挿入図iは同じ近接場モードのプロファイルであるが図6Cの導波路内へより高いレーザー出力が発射された状態の図である。

【図6F】図6Dの導波路の近接場モードのプロファイルの図を示す一方で、挿入図iは同じ近接場モードのプロファイルであるが図6Dの導波路内へより高いレーザー出力が発射された状態の図である。

【図7A】強化メディアガラス基板上にマッハツェンダー干渉計(MZI)を形成するために刻まれた導波路の例の平面図である。

【図7B】図7AのMZIを模式的に描写する斜視図である。

【図7C】MZI内で伝播した信号の波長の関数としてのdBmでの電力の例を示すグラフであり、湾曲した破線は、湾曲した直線に比べて10℃高い温度を表す。

【図8】本明細書に開示された光デバイスによるエバネッセント波センサーの例を図解す

10

20

30

40

50

るブロックダイアグラムである。

【図 9】ある光デバイスを別の光デバイスから区別するためのシステムの例を図解するブロックダイアグラムである。

【図 10 A】コード化導波路に沿って刻まれた散乱部分の特徴的な構成を有するコード化導波路の平面図である。

【図 10 B】赤外線カメラで測定された特徴的な分散された光学信号の例である。

【図 10 C】散乱部分の例の平面図であり、導波路は散乱部分を通り過ぎるように見える。

【図 11】光学後方散乱反射率計によって測定された位置の関数としての d B m での帰還信号電力の例を示すグラフであり、帰還信号は、後方散乱信号と反射信号とを含む。

【図 12】導波路に沿って導波路内に光学信号の焦点を合わせるために使用される合焦レンズの開口数の関数としての (d B / c m で測定された) 損失の例を示すグラフである。

【発明を実施するための形態】

【0026】

スマートフォン及びタブレットのような携帯デバイスがますます人気となっている。これらの携帯デバイス内でより一体化されたツール及びアプリケーションの必要性が、企業をハードウェアのさらなる小型化へ努力させる。ほとんどの携帯デバイスは、その機械的特性及び光学的特性のために、周知の C o r n i n g (商標) G o r i l l a (商標) のような強化メディアガラスで作られたスクリーンを有している。

【0027】

本明細書に記載された開示は、ガラス基板上に作られた光学デバイスを提示する。これらの光学デバイスは一般的に、内部に刻まれた少なくとも 1 つの導波路を有するガラス基板を含んでいる。いくつかの実施形態では、ガラス基板は、いくつかの携帯デバイスのスクリーンで使用されるような強化メディアガラスとすることができる。特に、この開示は、フェムト秒 (f s) レーザーを使用してこのガラスのタイプに作られる第 1 の高品質導波路を提示する。さらに、導波路をレーザーで書き込むのに、特に三次元 (3 D) デバイスに対して強化メディアガラスが適切な材料であることが分かった。これは、光デバイスの試作に大いに関連し、直接そこに高密度光電集積化を行うための扉を開く。

【0028】

最近、携帯デバイスに組み込まれたデバイス及びツールの数が、携帯デバイスのサイズによって制限されてきている。いくつかの電子デバイスは、スマートフォン内部にさらなる空間を許容するためにガラススクリーンに一体化されてもよく、スマートフォンはそれによってさらなるツールを収容することができ、実際に図示することができるように、新規な光学デバイスをスクリーン内に一体化することもできる。この開示では、いくつかの光デバイスが提案されるとともに説明されており、それらの製造が記載されている。実際に、ガラス基板に低損失の導波路を刻むためにフェムト秒レーザービーム発生器を使用して、温度センサー及び認証機能付きセキュリティシステムのような光学デバイスを作ることができる。

【0029】

ガラスに導波路を製造するためにいくつかの技術が現在利用可能である。しかし、この用途のためにレーザーで書き込むことが満足のいくプロセスであると信じられている。まず、レーザーを使用して製造された導波路は、図 1 において気づくことができるように電磁スペクトルの赤外線領域で操作可能であるので、肉眼では見えない。導波路の製造は、現在市場に出ているスマートフォンを製造するステップの一部として容易に含むことができる。レーザーでの書き込みは、とても容易で、迅速で、安価なプロセスであり、いくつかの導波路を 10 秒もしないうちに製造することができる。導波路の経路を設定するための 3 軸電動ステージのような移動デバイスのためのプログラミングコードは、迅速で、容易で、1 つのステップのみで実施できる。レーザー書き込みの初期設定から追加のコストが必要ない。他方で、イオン交換又は内部拡散プロセスのような導波路製造技術は、位相マスクと、クリーンルーム設備内における多くの高価なフォトリソグラフィ工程とによっ

10

20

30

40

50

て達成される。結局、レーザー書き込みは、素子層の積み重ねを許容するため、3D導波路を刻むことのできる唯一の技術であり、スマートフォン用途にとっても価値ある特性であると信じられている。

【0030】

フェムト秒レーザービーム発生器を使用してガラス基板に導波路を刻むことが知られていた。しかし、文献で報告された結果は、光の伝播を 0.1 dB/cm （ヒラオ K. (Hirao, K.) 及びミウラ K. (Miura, K.) Writing waveguides and gratings in silica and related materials by a femtosecond laser. J. Non-Cryst. Solids 239, 91 (1998)) 及び 0.2 dB/cm （イトン (Eaton) ら, (2005)) のような導波路内に限定する損失を示しており、したがって、光デバイスの導波路内への一体化を限定する。実際、当技術で記述される導波路は、いくつかの用途にとってかなり高い損失によって特徴づけられ、したがって、それらの展開及び使用にとって現実の障壁が残る。

10

【0031】

透明な材料の非線形吸収は、 10^{13} W/cm^2 付近の強度で多光子相互作用を介して起こり、 100 fs のインパルスに關しての強度は、およそ J/cm^2 のエネルギー密度に相当する。このエネルギー密度のあたりでは、図1に示されるように、発生するプラズマから光が見られ、光誘起屈折率変化が起こる。低エネルギーで焦点を合わせるとき、非線形吸収及び材料の変化又はプラズマはない。より大きなエネルギーは、内部の空洞又は直接的な材料の消耗につながる。したがって、ガラス基板に導波路を適切に刻むために最適化する必要のあるパラメーターがある。

20

【0032】

図2は、ガラス基板に導波路を刻むために導波路を刻むシステム10の例を図解するブロックダイアグラムを示している。この例では、導波路を刻むシステムは、レーザービーム発生器12と、合焦デバイス14と、移動デバイス16と、ガラス基板18とを備えている。

【0033】

この特定の実施形態は、レーザービームを発生するためのレーザービーム発生器12を有しているものの、レーザービーム発生器12は、フェムト秒レーザービームを発生するためのフェムト秒レーザービーム発生器12とすることもできる。典型的には、フェムト秒レーザービーム発生器12は、波長の範囲と、繰り返し率と、フェムト秒(10^{-12} 秒)のオーダーのパルス幅と、パルスエネルギーと、合焦レンズの開口数と、走査数と、レーザービームの偏光と、ビーム形状と、書き込みの深さによって記述することができる。

30

【0034】

例えば、フェムト秒レーザービームのパラメーターは、ガラス基板上に刻まれる導波路がシングルモードであるかマルチモードであるかで異なり得る。特に、例えば、フェムト秒レーザービームは、 900 nm と 1550 nm との間の範囲の波長と、 300 kHz から 2 MHz の繰り返し率と、 100 fs から 900 fs のパルス幅と、 550 nJ から 1000 nJ のパルスエネルギーとを有することができる。

40

【0035】

図3A及び3Bはそれぞれ、導波路を刻むシステム10の例を示すブロックダイアグラムを示している。これらの図面のそれぞれにおいて、レーザービーム発生器12は、移動デバイス16及び合焦デバイス14を介してガラス基板18に向けるためにレーザービームを発生することができる。図3Aの場合では、移動デバイス16は合焦デバイス14を含んでいる。このため、ガラス基板18は、導波路の表面上の経路に沿ってレーザービームが動く際に静止したままである。代替的に、図3Bは、移動デバイス16がガラス基板18を含み、レーザービーム発生器12に關して合焦デバイスが静止する、導波路を刻むシステムを示している。当業者には容易に理解されるように、移動デバイス16は3軸移

50

動ステージとすることができ、合焦デバイス14は、顕微鏡対物レンズのようなレンズとすることができる。ガラス基板上にレーザービームを連続的に反射する1つ又は複数の走査ヘッドを移動デバイスが含むことができることも理解される。例えば、移動デバイス16は、1から500mm/sの範囲の走査スピードでガラス基板18上をレーザービームが移動するようになっていいることができ、合焦デバイス14は、0.4から0.8の開口数を有するレンズを使用してガラス基板18上にレーザービームの焦点を合わせることができる。実際に、0.25から1.25の開口数(NA)を有する合焦デバイスが試されており使用することができるが、満足した結果を出すことができない。しかし、0.55及び0.66のNAを用いてガラス基板に満足のいく導波路を刻むことができる。ガラス基板18内に焦点を合わせたレーザービーム15を向ける合焦デバイス14の例のブロックダイアグラムを示す図4を参照することができる。この例では、導波路の直径がレーザービームの焦点17の区域よりも大きいことが分かる。これは、焦点を合わせたレーザービームからガラス基板へ伝わるエネルギーが焦点17の区域を越えて延びるからである。さらに、特定の深さ19で刻まれるように導波路が示されている。導波路の中心が焦点17に位置できることが考えられる。しかし、導波路がガラス基板の表面の近くに刻まれると、ガラス基板18の表面の存在により、導波路は焦点の下とすることができる。

10

【0036】

ガラス基板の表面の経路に沿ってレーザービームを相対的に動かすようになっている移動デバイスと一緒に上述のフェムト秒レーザービームを使用すると、(1550nmで測定された)0.03dB/cmまでの損失を有する導波路を達成できる。

20

【0037】

上述してきたように、ガラス基板上に単一の導波路を書き込むことが可能な書き込みパラメーターの組み合わせが多数存在できる。この明細書は、ガラス基板にシングルモードの導波路を刻む方法と、同じタイプのガラスにマルチモードの導波路を刻む方法とを記載する。これらの方法のそれぞれでは、これによって、フェムト秒レーザーの繰り返し率が増加するとパルスエネルギーが減少できることが理解される。したがって、焦点を合わせたビームのレーザー強度は 10^{13} W/cm²付近であることが好ましい。この閾値は、加熱された基板に関するものよりもおそらくずっと低いだろう。

【0038】

本明細書に記載された刻む技術を上記のガラス基板及び他のタイプのガラス基板に適用する際に低損失を達成するために考慮すべき重要な要因は、i)高いパルスーパルス強度安定性を維持すること(又は別の方法で、導波路の壁が導波路の長さに沿ってできる限り滑らかに維持されることを確実にすること)と、ii)できる限り少ない応力でガラス基板内に熱を引き起こすこと及び/又は刻んだ後に導波路を焼きなましすることを含むことができる。と我々は考える。

30

【0039】

マルチモードの導波路に関して、レーザービームは、900nmから1550nmの波長と、300kHzから900kHzの繰り返し率と、100fsから370fsのパルス幅と、200nJから500nJのパルスエネルギーとを有することができ、移動デバイスは1mm/sから14mm/sまでの範囲の走査スピードに設定でき、一方、合焦デバイスは0.4から0.8までの開口数を有するレンズを有することができる。典型的には、得られる導波路は、導波路の通常の使用時に導波路内における光信号の伝播の波長で測定すると、0.08dB/cm未満、好ましくは0.07dB/cm以下、最も好ましくは0.06dB/cm未満の損失を特徴とする。このフェムト秒レーザー発生器で、1mm/s未満の走査スピードはガラス基板に導波路を刻めないことが示される。実際に、あまりにも大きなエネルギーがガラス基板に伝わると、光の伝播が限定される欠点を観察することができる。しかし、10mm/sの走査スピードはより低い損失値を生み出し得るが、20mm/s程度の走査スピードでマルチモードの導波路を刻めることに気づく。

40

【0040】

波長1030nmのAltos Pharosレーザーと、波長1064nmのFia

50

nium FP1060-2 μ J フェムト秒レーザーとの2つのフェムト秒レーザー発生器を使用して、最も良好な書き込みパラメーターを見つけるために、何千もの導波路を製造した。最低な損失のマルチモードの導波路を達成するために最良の全書き込みパラメーターは、600mWの電力、600kHzの繰り返し率、300fsのパルス幅、0.55のNAを有する40個の合焦レンズのPharosレーザーを使用して、円形に偏光した光で10mm/sのスピードで1回の走査で見つかった。ガラスの表面の150 μ m下に導波路を製造した。この特定の導波路は、1550nmで0.027dB/cmの損失を示した。我々の認識によれば、これは、フェムト秒レーザー発生器が製造した導波路を介してこれまで測定された最低の損失である（損失測定の詳細に関する方法のセクションを参照）。その導波路は図5Aに示されている。外部の領域は50 $\times$ 67 μ mの寸法を有し、内部領域は13 $\times$ 44 μ mの寸法を有している。内部領域は主にパルスの電場によって形成されるとともに外部領域は熱の蓄積によって形成され、したがって、応力が開放されると考えられる。このマルチモードの導波路によって支持されたモードは、LP₀₁、LP₁₁、LP₂₁及びLP₄₁であると思われる。近接場はおよそ25 $\times$ 32 μ mのモードサイズを与え、これは基本モードが内部領域を通り、より高いモードが外部領域を通ることを示唆している。

【0041】

他方、ある用途は、モードのミスマッチを避けるためにシングルモードの導波路を使用する必要がある。シングルモードの導波路に関して、レーザービームは、900nmから1550nmの波長と、800kHzから2MHzの繰り返し率と、380fsから900fsのパルス幅と、550nJから1000nJのパルスエネルギーとを有することができ、移動デバイスは50mm/sから500mm/sまでの範囲の走査スピードに設定でき、一方、合焦デバイスは0.4から0.8までの開口数を有するレンズを有することができる。本明細書に記載された導波路を刻む方法は、1030nmの波長又は1064nmの波長を有するフェムト秒レーザー発生器を使用するものの、レーザー強度がガラス基板内に屈折率の変化を引き起こすのに十分である限り、導波路を刻むことは、900nmから1550nmの範囲の波長でも行うことができる。さらに、このフェムト秒レーザー発生器で、繰り返し率を1MHzに合理的に選ぶことができ、これにより満足いく導波路が可能となることが示される。しかし、上述したように、レーザー強度が十分に高い限り、800kHzから2MHzの範囲の繰り返し率を使用できる。さらに、現在までのところ、ガラス基板に導波路を刻むために最も高い走査スピードが35mm/sであったことに注目されたい。走査スピードを上げると、ガラス基板に伝わるエネルギーは小さくなり、したがって、導波路を刻むことのできるガラス基板内に蓄積される熱が少なくなることが当業者は理解するであろう。このため、高走査スピードはシングルモードの導波路を刻むために適し得ることが観察されている。これは、高走査スピードは単位長さあたりの伝えることができるエネルギーの量はより少なく、したがって、より小さい導波路を刻み、導波路のコアの屈折率とガラス基板の屈折率とのより低い屈折率の比を生み出すからである。したがって、50mm/sと500mm/sとの間の走査スピードは、低損失のシングルモードの導波路をもたらすことができる。さらに、500mm/sを超える走査スピードは、ブラッググレーティングを刻むことをもたらし得るか、又はその代わりに、シングルモードの導波路を刻むことをもたらし得ることが観察された。これは、ガラス基板の刻みが、2つの継続するパルス間の距離のために周期的にのみなることができるからである。典型的には、得られる導波路は、1550nmで測定すると、0.08dB/cm未満、好ましくは0.06dB/cm以下、最も好ましくは0.03dB/cm未満の損失を特徴とする。

【0042】

案内されるモードの数を減らすために、2つの標準パラメーター、すなわち、コア n_1 とクラディング n_2 との屈折率差、導波路の $\Delta n = n_1 - n_2$ と、導波路のコアの直径とを制御する必要がある、それにより、当業者に容易に知られるように、円筒形状の導波路に関する規格化周波数V（すなわちV値）を2.405未満に維持する。将来の用途に

重要な湾曲した又は曲がった導波路は、 Δn が小さい場合、より大きな損失を生み出す。フェムト秒レーザー発生器を使用することから得られる屈折率の変化を制御し測定することも簡単ではない。さらに、導波路の直径は顕微鏡下で見ることができる。その直径を小さくするために、電力を減らすか、レーザー走査の速度を高くすることができる。非線形吸収を得るために必要な電力はとても高いために、我々のケースでは、電力を減らすことは実用的な解決策ではない可能性がある。Altos Pharosレーザーの繰り返し率は、1 kHzと600 kHzとの間に設定することができる。シングルモードの導波路を作るのに必要な走査速度が高すぎるのが分かり、したがって、2つのレーザーパルス間の距離が長すぎるのが分かり、このため、ガラス内で引き起こされた屈折率の変化が周期的であった。ブラッググレーティングの製造に適する現象。シングルモードの導波路の製造は、より高い繰り返し率のために、Fianiumのフェムト秒レーザー発生器を使用することにより最終的に可能であった。最良なシングルモードの導波路は、以下のパラメーター、すなわち、630 mWの電力と、1 MHzの繰り返し率と、500 fsのパルス幅と、0.55のNAを有する40個のレンズと、円形に偏光した光による300 mm/sの速度の1回の走査とを使用して製造した。その導波路は、ガラスの表面の150 μm 下に位置した。この導波路は、0.053 dB/cmの損失を示し、再び我々の認識によれば、フェムト秒レーザーの刻みを使用して製造したシングルモードの導波路に関してこれまで測定した中で最も低い損失であった。それは、これまで報告された全ての既存の方法の中で最も早い製造プロセスでもある。

【0043】

図5Bは、シングルモードの導波路を示している。導波路の外部領域のサイズは37×53 μm までであり、マルチモードの導波路よりも著しく小さい。内部領域のサイズは13×35 μm までであり、これはマルチモードの導波路で見られるものと同様である。円形の近接場モードのプロファイル径は11 μm であり、これは内部領域内のみに光が閉じ込められることを立証する。全ての導波路が楕円形状を有することに留意すべきである。円形状は、円筒形状のレンズ又はスリットを使用することによって作ることができ（アムス M (Ams, M.), マーシャル G D (Marshall, G. D.), スペンズ D J (Spence, D. J.) 及びウィズフォード M J (Withford, M. J.) Slit beam shaping method for femtosecond laser direct-write fabrication of symmetric waveguides in bulk glasses. Optics Express. 13, 5676-81 (2005)

及び、ヤン W (Yang, W.), コルバリ C (Corbari, C.), カザンスキー P G (Kazansky, P. G.), サカグチ K (Sakaguchi, K.) 及びカルバロ I C S (Carvalho, I. C. S.) Low loss photonic components in high index bismuth borate glass by femtosecond laser direct writing. Optics Express. 16, 16215-26 (2008))、これは、合焦レンズの直前で楕円のビームを発生する。さらに、10 mm/sの走査速度でPharosレーザーで使用した同じパラメーターでFianiumレーザーを使用して書き込んだ低損失のマルチモードの導波路は、ほんの0.08 dB/cmの損失が測定された。

【0044】

携帯デバイス、電子タブレット及び他のより大きなマルチメディアデバイス上でこれらの結果を再現できることを証明するために、同じ書き込みパラメーターを使用して、強化メディアガラスに30 cmの長さの真っすぐな導波路を製造した。同一の損失が測定された。我々の認識によれば、これらは、fsレーザーを使用してこれまで製造した中で最長の真っすぐな導波路である。0.027 dB/cmの損失書き込みパラメーターを使用して、1 mの長さの湾曲したマルチモードの導波路を製造した。この導波路は「S」形状を有し、最初の直線は25.1 cmであり、4.75 cmの半径の半円と、20.1 cmの

直線と、次に4.75 cmの半径を有する他の半円と、最後に25.1 cmの直線とが続く。この導波路は、これまで製造した中で最長の湾曲した導波路である。測定された損失の合計は24 dBであった。これから、湾曲によって発生された0.38 dB/cmとなる損失を得ることができ、これは、真っすぐな導波路よりも著しく高い。1 mの長さの導波路に関する平均の損失は、依然としてほんの0.24 dB/cmであった。強化メディアガラスにいくつかの簡単なデバイス（50%/50%連結器、75%/25%連結器、1×2スプリッタ及び1×4スプリッタ）も製造し、全てが、全デバイスにわたって0.5 dB未満の追加的な損失をもたらした。2つの導波路を分けるのに必要な湾曲は、比較的低損失のみを発生する連結器を形成するのに必要なある距離を上回るほんの100 µmのずれである。しかし、ループキャビティ共鳴器又はサニャック干渉計のようなある用途は、比較的長い距離の湾曲が必要である。角速度[21, 22]を測定するためにサニャック干渉計が使用されることに留意されたく、これは、携帯マルチメディアデバイスにとって大いに興味深いことである。たとえば、3Dレーザーの書き込みが、ループ数Nに回転ごとのサニャック効果を掛けた螺旋状の導波路を許容するとしても、小さなマルチメディアデバイスは依然として急カーブを必要とする。この目的で、我々は、湾曲の半径の関数としての損失を検討した。5 cmの湾曲の半径に関して0.7 dB/cmを得、4 cmに関して1.2 dB/cmを得、3 cmに関して2.4 dB/cmを得た。これらの全ては、4分の1の円にわたって測定した。これらの結果は、改善の機会が大にあることを示している。導波路の屈折率が増加すると、この問題が解決されるであろう。より高いレーザー出力を使用して導波路の一方の側により低い屈折率を引き起こすこと（これは、導波路を加圧する）が解決策となることが証明できると考えられる。しかし、これは、肉眼で見ることができる。それにもかかわらず、この方法は、ディスプレイ領域の周りのガラス内の解決策とすることができる。

【0045】

この場合、ガラス基板は、強化メディアガラス材料又は強化ガラス材料で作ることができる。これらのタイプのガラスは、ガラスに刻まれたシングルモード又はマルチモードの導波路の損失をかなり減らすように示されてきた。さらに、これらのタイプのガラスは、イオン交換プロセスで強化された上部層を有している。強化メディアガラス内で引き起こされた屈折率の変化は、ガラス内の高い内部応力に大いに依存すると考えられている。単純な損傷が引き起こす屈折率の変化であるよりもむしろ、ファイバブラッググレーティング内のタイプIIAの屈折率の変化の場合におけるような応力の開放も、そのプロセスに関係することができるであろう。そのファイバの場合、あるタイプのファイバのコアとクラディングとの間に蓄積された応力は、グレーティングを刻む間に解放され、コアの周りに負の屈折率の変化を引き起こし、より強い屈折率の変調を許容する。この場合では、応力の開放は、欠陥を作り出すより高いレーザー出力を必要とせずに、案内特性をさらに高めるであろう導波路の周りのより低い屈折率の領域を引き起こすであろう。これは、他のガラスに比べて強化メディアガラスに引き起こされた著しく低い損失を説明することができる。

【0046】

強化ガラス内の低損失の導波路は、コアクラディングの界面の品質によるものであろうとも考えられている。界面の粗さは、散乱を引き起こすので損失を発生する。強化メディアガラス内の金属イオンは、凹凸内を充填することにより、この界面を和らげると考えられている。しかし、これから述べる2つの仮定は、さらなる研究で確認する必要がある。（平行及び垂直な）2つの導波路区域領域の屈折率プロファイルの正確な決定は、我々のモデルの確認を助ける可能性がある。

【0047】

この明細書では、強化メディアガラスという用語は、強化層を有する他のタイプのガラスを指すことができる。強化層は、熱的及び／又は化学的処理を含む1つの（又は1つより多くの）プロセスによって得ることができる。したがって、これらの処理は、処理しないガラス基板に比べて、ガラス基板の層の強度を高めることができる。強化層は、強化層

上の残留圧縮応力を引き起こすイオン交換プロセスに起因することができ、衝撃時に亀裂が広がるのを防ぐことができる。例えば、カリウムイオンを混合することによってガラスを補強することが知られている。これらのタイプのガラスは、スマートフォン、電子タブレット、携帯用メディアプレーヤー、ラップトップコンピューター、及び／又は任意の電子ディスプレイのようなメディアデバイスに使用することに適し得る。好ましくは、強化メディアガラスは、アルミノシリケート、アルカリアルミノシリケート、又はアルカリ土類ボロアルミノシリケートとすることができる。アルカリアルミノシリケートの例は、C o r n i n g (商標)によって作られたG o r i l l a (商標)ガラス又はA G C (商標)によって作られたD r a g o n t r a i l (商標)とすることができ、一方、アルカリ土類ボロアルミノシリケートの例は、やはりC o r n i n g (商標)によって作られるE A G L E X G (商標)ガラスとすることができる。

【0048】

三次元のレーザーでの書き込みは、小型のデバイスを製作する可能性を提供する。強化メディアガラスの各側の圧縮強化層は、ガラスが消耗するのを保護し、表面のより近くに導波路を書き込ませる。図6A及び6Bは、C o r n i n g 0 2 1 5ソーダ石灰ガラスの表面近く書き込まれた導波路の正面図の例を示し、一方、図6C及び6Dは、同じ書き込み条件を使用して、強化メディアガラスの表面近く書き込まれた導波路の正面図の例を示している。ソーダ石灰ガラスは、窓、ボトル及び多くの他の市販品を作るのに使用されるように、おそらく最も一般的に製造されたガラスであることに留意すべきである。ガラスの表面の下25 μm でさえ、強化メディアガラスは、より深く書き込まれた導波路(図6C参照)と大きな違いを示さない。他方で、ソーダ石灰ガラスは、容易に亀裂が入り、消耗し、破壊されるが、それについては図6A及び6Bを参照されたい。導波路の上部がガラスの表面に触れる場合でさえ、強化メディアガラスの導波路は、測定された損失が典型的に5%高いことを示す良好な条件であり(図6D)、一方、ソーダ石灰ガラスでは消耗が起こる(図6B)。異なる書き込み深さで導波路を最適化するために、書き込みパラメーターをわずかに最適化できることを留意すべきである(コワレヴィクヅ A M (K o w a l e v i c z, A. M.), シャルマ V (S h a r m a, V.), イッペン E P (I p p e n, E. P.), フジモト J G (F u j i m o t o, J. G.) 及びミノシマ K (M i n o s h i m a, K.) *Three-dimensional photonic devices fabricated in glass by use of a femtosecond laser oscillator. Optics Letters. 30, 1060-2 (2005)*)。図6F及び6Hはそれぞれ、図6C及び6Dに示された表面の導波路の円形近接場モードのプロファイルの例である。それらの近接場モードがどのくらい表面に近いかを見るために、より高いレーザー出力を導波路内に発射し、それぞれが図6E及び6Gの挿入図i及びiiに示されている。図6の図から分かるように、フェムト秒レーザーによって一旦ガラスが壊れると亀裂が容易に広がるので、ソーダ石灰ガラスの表面近くに導波路を書き込む試みが成功しなかった。しかし、これらの実験は、強化メディアガラスが、ガラス基板の表面直下の所与の距離に導波路を刻むための理想的な母材であるようにいうことを明らかにし、これは、用途を判断する際の大きな関心となり得る。図6Cに見られるように、所与の距離は25 μm 程度とすることができ、図6Dから分かるように、さらに小さくすることができる。表面から25 μm の距離に書き込まれた導波路の例を図6Cが示しているものの、45 μm より狭い距離で刻まれた導波路は報告されていないと考えられる。

【0049】

他の実施形態では、光学センサーのような光デバイスは、強化メディアガラスの表面に設計することができる。例えば、マッハツェンダー干渉計(MZ I)ベースの温度センサーである。この極めて正確なデバイスは周知であり、レーザーを使用して異なるガラスに既に製作されている(デラ ヴァレ G (D e l l a V a l l e, G.), オセラメ R (O s e l l a m e, R.) 及びラポルタ P (L a p o r t a, P.) M i c

romachining of photonic devices by femtosecond laser pulses. J. Opt. A: Pure Appl. Opt. 11, 013001 (2009)). しかし、低損失の導波路を形成するためにレーザーで書き込まれたものはない。図 7 A 及び 7 B に示されるように、MZI は、真っすぐな導波路及び別の湾曲した導波路で作られている。2 つのアーム間の光学経路差は $n_d = 480 \text{ nm}$ である。室温で MZI が出力したスペクトルの一部が図 7 C に示されている。MZI の出力における光強度は、以下の式を使用して計算される。

【0050】

【数 1】

$$I = I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1 I_2} \cos\left(\frac{2\pi n_d}{\lambda}\right); \quad (1)$$

10

【0051】

ここで、 I_1 及び I_2 は、MZI の 2 つのアーム内の光強度であり、 λ は光の波長である。強化メデアガラスの熱膨張係数は典型的には、 $9.1 \times 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ であり（コーニング、コーニングゴリラガラス技術材料。コーニングウェブサイト（2008）から 2013 年 10 月 11 日に検索した）、これは、シリカのおよそ 9 倍である（カシャプ R (Kashyap, R.) Fiber Bragg Gratings Second edition, (London, Academic Press, 2009)）。これは、出力での強度変化がシリカベースのデバイスと同じであるが、より小さな設置面積であることを意味する。式 (1)、熱係数及び経路差を使用して、スペクトル内の波長シフトを得ることができる。図 7 B における赤の破線の曲線は、温度が 10°C 上昇した後の理論スペクトルである。理論的に計算された値は実験計測と一致するようであり、実験計測はヒートガンを使用して行われ、温度の正確な設定は得るのに簡単ではなかった。この波長シフトは、単色光源からの出力電力を測定することにより容易に得ることができる。

20

【0052】

MZI の精度は、鮮明度 v と呼ばれる、出力での縞のコントラストを増大することにより高めることができる。

【0053】

【数 2】

$$v = \frac{2\sqrt{I_1 I_2}}{I_1 + I_2} \quad (2)$$

30

【0054】

鮮明度を最大化するために、MZI の 2 つのアーム内の強度を同一にすることができる。この結果を得るために、MZI の入力連結器（図 7 A）は対称にすることができる。この温度センサーを適用することにより、携帯マルチメディアデバイス内の過熱を検出することができるであろう。我々の現在の実証では、MZI は非常に長く（ほぼ 300 mm ）、これにもかかわらず、損失は、デバイスを容易に動作させるのに十分低い。当然ながら、携帯デバイス内に組み込まれた用途に関して、デバイスをはるかに小さくすることが可能である。

40

【0055】

他の実施形態では、光デバイスは、図 8 に図解された例のようなエバネッセント波センサー 20 とすることができる。実際に、導波路からエバネッセント波 26 の侵入距離 24 を下回る距離 22 で導波路 21 がガラス基板 18 内に刻まれると、エバネッセント波は、ガラス基板 18 の表面に隣接する環境 28 をサンプリングすることができる。そうすることにより、環境 28 内における屈折率の変化は、エバネッセント波を介して導波路 21 に沿って伝播するサンプル信号と相互作用することができる。これにより、例えば、時間の関数として分析物 30 の濃度が変化すると、検出させるサンプル信号を修正することができる。

【0056】

50

他の実施形態では、光デバイスは、図9のブロックダイアグラムに図解された別の光デバイスからある光デバイスを区別するためのシステム40内で実行することができる。光デバイス（又は光学デバイス）は、少なくとも導波路が刻まれたガラス基板を含んでいることが理解される。そのシステムは、導波路を有するガラス基板を導波路を有する別のガラス基板から区別することができるものの、認証及び偽造防止の目的で、導波路が刻まれたガラス基板を導波路が書き込まれていないガラス基板から区別することもできる。この実施形態では、システム40は、1つの光学デバイス42又は複数の光学デバイス42'を含むことができ、光学デバイス42は、ガラス基板18の表面の経路に沿って刻まれるとともに表面に近い深さでレーザービームの焦点を維持しながらレーザービームを相対的に動かすことで得られる関連する導波路21を有するガラス基板18を有し、導波路は、レーザービームを使用して、導波路の単位長さあたりのある量のエネルギーを与えることでガラス基板に刻まれる。ここで、光学デバイスのそれぞれに関して、複数の散乱部分44（黒点で図解されている）は、ガラス基板の表面の経路に沿って刻むことができ、表面の下の深さでレーザービームの焦点を維持しながら導波路上にレーザービームを位置させることにより得ることができる。散乱部分44の場合では、導波路の単位長さあたりのある量のエネルギーとは異なるとともにレーザービームを使用する導波路の単位長さあたりの第2の量のエネルギーを提供することができる。例えば、単位長さあたりの第2の量のエネルギーは、導波路の位置でレーザービームの走査スピードを修正することにより得ることができる。図9に図解されたこの例では、散乱部分44は、1秒間、導波路に沿って所与の位置でレーザービームを維持することによって得られた。散乱部分44は、導波路21に沿って互いに対して特徴的な配置46で配置できることに留意すべきである。今後、各光学デバイスは、独自の特定の特徴的な配置を有することができる。

【0057】

システム40の光学デバイスのそれぞれは、導波路21に沿って導波路21内にかつ散乱部分44を通して伝播される光学信号を発生するために、導波路21の一端に接続された光学信号発生器48をさらに含んでいる。さらに、散乱部分44は、散乱部分44の特徴的な配置46に基づいて特徴的に散乱された光学信号を形成するために、ガラス基板の外側に光学信号の対応する部分を散乱することができる。これにより、光学デバイス42の特徴的に散乱された光学信号は、光学デバイス42'の特徴的に散乱された光学信号と異なることができる。今後、センサー50は、2つの光学デバイス42及び42'の少なくとも1つの特徴的に散乱された光学信号を測定するのに使用することができる。図9では、センサー50は、光学デバイス42から散乱された特徴的に散乱された光学信号を測定することができる。したがって、センサー50に接続されたコンピューター52は、光学デバイス42及び42'の1つに、測定された特徴的に散乱された光学信号を関連付けることができる。代替的に、コンピューターは、測定された特徴的に散乱された光学信号を光学デバイス42及び42'の1つに関連付け可能でない可能性があることを決定するのに使用することができる。これは、測定された光学デバイスにコード化導波路が刻まれていないからである。この特徴は、単一のガラス基板からコード化導波路を有する光学デバイスを認証させることができる。依然として図9を参照すると、54で図解されている測定された散乱された光学信号は、光学デバイス42の散乱部分の特徴的な配置と一致する。当業者であれば理解できるように、コンピューターは、少なくともプロセッサ及び／又はマイクロプロセッサを有する計算デバイスとすることができる。さらに、センサーは、コード化導波路の外側へ散乱される光の桁と波長とを検知するようになっているあるタイプの検出デバイスとすることができる。

【0058】

例えば、ある光学デバイスを別の光学デバイスから区別する方法は、ガラス基板を有する携帯デバイスで実施可能であると考えられている。そのような実施形態に関して、非接触手段を使用して走査することにより増加し普及している、クレジットカードの不法な複製を避けることができる。スマートフォン技術の傾向は、異なる技術（インターネット、カメラ、電話による通信．．．）からの特徴を統合することであり、将来の高級なス

10

20

30

40

50

スマートフォンに認証が含まれる可能性が最も高いであろう。これにより、さらにセキュリティを改善するために、目又は指紋を走査する技術のような生体認証が、別のレベルのセキュリティを付加するのに使用することができるが、これらの概要は、デバイスのハードウェアにおける主流となるには複雑すぎるということを証明できる。

【0059】

現実施形態で提案された簡単な技術は、認証セキュリティを改善するために任意のスマートフォンに統合できる簡単な技術を提案することができる。図9で図解された概要では、スマートフォンの識別は、書き込まれた散乱部分の特徴的な配置を有するコード化導波路を使用して、携帯電話のスクリーン内の単純な光学的にコード化された情報に基づいて
10
いる。ガラス基板に統合された導波路の外側へ散乱される特徴的に散乱された光学信号（又は空間的にコード化された画像）は、赤外線カメラのようなセンサーを使用して光学的に読み取ることができる。コード化された情報（又は散乱部分の特徴的な配置）は、アルゴリズムを使用してランダムに発生することができる。より高度に関連した損失と一緒に、曲げ半径は、暗号化のためにコード化された情報とともに使用することもできる。

【0060】

そのようなシステムを説明するために、導波路の外側へ散乱された赤外線（特徴的に散乱された光学信号）を検知するための電荷結合素子（CCD）カメラ（又はセンサー）の前に配置された蛍光シートは、導波路に沿って散乱部分とコード化されている。この概念実証は、高い散乱損失を有する散乱部分を製造することによって行われた。図10Aは、散乱部分の特徴的な配置の平面図の例を示し、図10Bは、赤外線カメラを使用して測定
20
された、測定された特徴的に散乱する光学信号の例を示す一方、図10Cは、散乱部分の平面図の例を示している。例えば、散乱部分の特徴的な配置は、標準的な緊急事態のモールスコッド「SOS」に従ってコード化され、3つのドット、3つのダッシュ、そして3つのドットが続く。各ドットは、レーザーを適当な位置で1秒間停止させることにより簡単に製造された。連続する2つのドット間の距離は200 μm とすることができる。

【0061】

例えば、光デバイスは、コード化導波路に接続された光学信号発生器を組み込むことができ、光学信号発生器は、コード化導波路に沿って光信号を発生するとともにさらに伝播するようになってい
30
ることができる。例えば、高いレーザー出力のレーザーダイオードはこの目的に関して満足できるが、3 mWの電力を有する光学レーザーダイオードは、図10Aに示される20の散乱ドットに十分な電力を提供するのに十分であることができる。これら20の散乱ドットは、 2^{30} の異なるオン・オフキーの組み合わせを提供するのに使用することができる。これにより、0.01 μW の電力を有する散乱ドットからの散乱された信号電力を測定するためにCCDカメラが適合し得ることを留意すべきである。当業者には理解されるであろうように、センサーの感度が非常に低ければ、散乱部分に光信号の大部分を散乱させ得る（1秒の代わりに）2秒のより長い維持時間の間、焦点を合わせたレーザービームを維持しながら、散乱部分をガラス基板に刻むことができる。さらに、ガラス基板内において焦点を合わせたレーザービームの維持時間をコード化導波路の長さ
40
に沿って変えることができることが理解される。これは、光信号のある部分を、伝播距離及び通り抜ける散乱部分の数の関数として導波路の外側へ散乱させることができるからである。

【0062】

散乱部分の他の特徴的な配置を提供することができる。例えば、これらの散乱ドットは、ほんの小さな領域内で、多数のキー又は暗号の組み合わせを発生することができる。例えば、100 μm ごとにドットを書き込むこと（二進法の1）又はドットの不在（二進法の0）は、1 mm^2 の領域内に 10^{15} を超える異なるキーを発生することができる。10 dBの合計の挿入損失が、全てが1のキーである最悪の場合に関して、0.2 dB/散乱部分の損失の条件において見積もられる。実際に、導波路を刻むために提供された単位長さあたりの第1の量のエネルギーよりも大きい単位長さあたりの第2の量のエネルギーを提供することによって、散乱部分を得ることができる。代替的に、散乱部分の高い散乱
50

損失が湾曲した経路を有する導波路部分によって提供され得る。実際に、散乱部分は湾曲した経路に沿って焦点を合わせたレーザービームを相対的に動かすことにより得られ得る。したがって、この湾曲した経路は、湾曲損失を通して導波路の外側へ光を散乱することができる。さらに、導波路を分けるために、湾曲した導波路と、スプリッタと、ブラッググレーティングと、光波長多重通信(WDM)と、デマルチプレクサーとを使用することは、これらのキーを非常に複雑にすることが可能であり、したがって、一意なコード化導波路を複製する難しさを増大し、これにより偽造を制限できる。

【0063】

散乱部分に関する所与の損失が我々の実験では0.2 dBであると測定されたものの、コード化導波路は、より低い及び／又はより高い散乱妨害感受性を有する散乱部分と一緒に刻むことができる。実際に、センサーは、散乱部分ごとに0.01 μ Wまで（おそらく10 nWまでさえ）検知できるようにすることができる。例えば、10 dBの損失の損失収支が、1平方ミリメートルの正方形の領域を有するとともに互いに対して連続して連続されて横方向に0.1 mm間隔をあけた10の導波路を有する10 mmの長さの導波路に関して考慮されると、散乱部分を0.1 mmごとに刻むことができ、100の散乱部分を10 dBの損失収支で扱うことができる。この状況では、各散乱部分は、散乱部分ごとに0.1 dBの損失を有することができる。実際に、これは十分であり得、その損失は、この値の半分よりもかなり小さく依然として検知可能であり得る。例えば、コード化導波路内に1 mWを発射することができ、これは、散乱部分ごとに10 μ Wのみが散乱されることを意味する。たとえこれが散乱部分ごとに10 nWであったとしても、検知可能とすることができ、これは、100の散乱部分に関して合計の損失がたった1 μ Wであり、導波路内の99.9%の光は（1 mWから）変更がないままであることを意味する。

【0064】

さらに、導波路を有する光デバイスに関して、導波路内に光信号を注入することは難しいことがある。別の実施形態では、1つの（又は1つより多い）散乱部分は、導波路内に光信号を注入する配列を示す注入効率を測定するために使用することができる。実際に、散乱部分から散乱する散乱された光を測定することによって、導波路内へ光信号を適切に注入するために光信号の配列を最適化することができる。一般的に、光の注入は、散乱部分から散乱された測定された光を最大化することによって最適化することができる。今後、配列効率は、測定された散乱された光に基づいて決定することができる。

【0065】

本明細書には、フェムト秒レーザーでの刻みを使用して、強化メディアガラス基板の表面近くの距離において、強化メディアガラス基板に低損失の導波路を刻む方法が開示される。この方法は、0.03 dB/cmを下回る損失を有するマルチモードの導波路を製造するために使用した。さらに、フェムト秒レーザーで書き込まれた導波路内に存在するモード依存性の損失があることを初めて説明する。最も低い次数のモードを励振することにより導波路に関して最も低い損失を与えるが、NAは低い。導波路の近くに埋め込まれた低い屈折率の領域に対するレーザーの賢明な使用によりNAを改善することが可能であり得る。強化メディアガラスの応力プロファイルは損失の減少を助けるようであり、これは、第一に高められた散乱によるものであると我々は考えている。また初めて、これらの導波路を強化メディアガラスのガラス表面の直下書き込むことができ、導波路がおそらく応力プロファイルにより助けられるが消耗の問題により他のガラスでは不可能であることを示してきたと我々は考えている。さらに我々は、スマートフォン及びディスプレイのようなマルチメディアガラス内に光デバイスを組み込む可能性を示す特別に長い、このガラスでは1 mの長さまでの導波路を書き込んできた。実際、情報のコード化は、導波路を暗号化するための技術とすることができ、同じガラス内の温度を検出できる干渉計MZIデバイスも説明され、本明細書に記載された光デバイスでスマートフォンをより高性能にする可能性を開いている。

【0066】

正確な結果を保証するために、3つの方法を使用して損失測定を行った。まず、LUN

Aからの光後方散乱反射率計（OBR）を使用した。OBRは、レーザーパルスを送り、時間の関数としての光後方散乱を測定し、次にこれを時間遅れに変換し、これにより位置となる。図11は、開示された書き込み技術によって刻まれた30cmの長さのマルチモードの導波路内の位置の関数としてOBRによって測定された（dBmでの）電力の例を示すグラフである。左側の最初のピークは、単一モードのファイバSMF28ファイバと30cmの長さのマルチモードの導波路との間の接続部から反射された光である。さらに30cmの（5.78mにおける）2番目のピークは、導波路の末端面からの反射である。5.7mあたりの2つの小さなピークはサンプルか材料かにかかわらず常に存在し、これらのピークは器具におけるモードのミスマッチ又は複数回の反射から来ることを含意することに留意すべきである。導波路の反応の円滑さは、損失が散乱から来るものであって欠陥又は他の非均一性からのものでないことを我々に示す。

10

【0067】

強化メディアガラスの場合のように材料が均質であれば、dB/cmでの伝播損失は後方散乱曲線のスロープを通して得ることができる。OBRからのレーザーパルスはある幅を有しているので、接続前後で効果があり、それにより50cmまでよりも長いデバイスのみで適切に分析できる。我々の導波路は、導波路の入口で大きな人工物を避けるのに十分長くはなかった。これにより、得られた損失は、（カットバック法で測定された）実際の値よりも高かったが、我々に良好な近似を与える。1550nmでの 0.06 ± 0.04 dB/cmの損失は、グラフを拡大することによって得られた。後方散乱により導波路を光が2回通ると、スロープが我々に2倍の損失を与えることに留意すべきである。マルチモードの導波路内の光を連結するために使用される光学ファイバも、より高い次数のモードを励振することができ、さらなる損失を発生することもできる。

20

【0068】

損失を測定するのに使用される2番目の技術は、入力での電力を測定し出力での電力を差し引くことによるものであった。残念ながらこの方法は、フレネル反射及び連結損失を含む。連結損失を最小化するために、測定すべき導波路に関する最良のNAを見つけるためにレンズシステムを使用した。図12は、損失と、NAが増加するようなさらなるモードとを示している。0.25のNAで、全ての各モードは、発射条件を単に変更するだけで励振されることができ、 0.23 dB/cmの損失が測定される。しかし、より低いNAで、より高い次数のモード LP_{41} が消え、驚くことに、損失が0.1から 0.15 dB/cmの間に減少する。NAをさらに 0.045 まで減少することにより、 LP_{01} 及び LP_{11} のモードのみの存在で、 0.04 dB/cmのより低い損失が得られた。導波路の出力光角度を使用した近似は 0.03 ± 0.01 のNAを与える。そのようなNAを達成するために、 $150\mu\text{m}$ の直径のピンホールを用い、 0.012 までのNAを与える。残念ながら、光の大部分はカットされ、電力メーターの変動はもはや無視できるものではなかった。これにより、この測定は正確ではなかった。レンズの連結技術に屈折率整合油を使用できないことに留意されたく、またフレネル反射損失を除去するために、研磨された末端面のそれぞれに抗反射コーティングを使用しなかった。研磨品質に依存して、0.1から 1 dB/末端面までは通常、損失の合計から差し引かれる。サンプルを研磨するために、 0.3mm のグリットサイズまでの異なる研磨シートを使用した。図12に示される曲線の階段形状は、異なるレーザー書き込みパラメーターを使用して製造した全ての導波路で見られる。 0.045 （又はそれ未満）のNAを下回る損失を測定するために、3番目の方法を使用し、以下に記載する。

30

40

【0069】

導波路の屈折率の変化 $\Delta n = n_2 - n_1 = 0.0003 \pm 0.0002$ （上述したように、 n_1 = クラディングの屈折率、 n_2 = コアの屈折率）の近似値は、強化メディアガラスの屈折率 $n_1 = 1.503175$ [26] 及び以下の式を使用して計算される。

【0070】

【数 3】

$$NA \approx \sqrt{n_2^2 - n_1^2}; \quad (3)$$

【0071】

損失を測定する3番目に使用した方法は、周知のカットバック法である。この方法は、長い導波路を通して伝えられた光強度を、導波路をカットした後に短い方を通して伝えられた強度と比較することを含む。切断された長さにあたるdBでの損失は、フレネル反射を排除する厳密な伝播損失を与える。300mmの長さの導波路を、230mmの長さにカットし、70mmの長さとした。これら2つの断片を使用しそれぞれを300mmの長さの導波路と比較して、0.027dB/cmの損失を得た。この技術は最も正確なものとして知られているが、破壊されてしまうので通常は使用されない。しかし、レーザーを使用する導波路の製造はとても速いので、このことは我々のチームにとって論点ではない。不均一性を研磨すること又は結果に影響を与え得た他の問題を避けるために、我々は他の2つのサンプルの測定を繰り返し、同様の結果を得た。文献では、通常10から50mmの長さの導波路を製造し、これによりカットバック技術が全く正確ではない。この技術は、我々のより長い30cmの長さのデバイスに極度に強力的に適用されることで、初めての非常に正確なデータを与える。

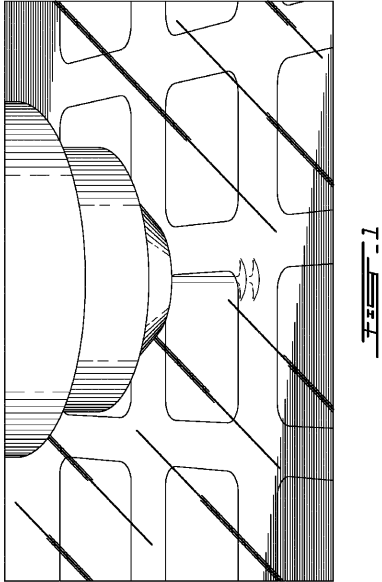
【0072】

ここでさらに一般的に可能性のある実施形態に言及すると、導波路を刻む際に全体的に散乱を減少することによって、従来技術と比較して損失を減らすことができるであろうことを発見した。いくつかの可能な例をあげると、ガラスの応力解放区間、ガラスの熱で影響された区間に導波路を刻む際に、ガラスにより低い屈折率の領域を引き起こすこと及び／又は1つのビームの代わりに2つのビームを使用することによって、散乱の減少を起すことができる。

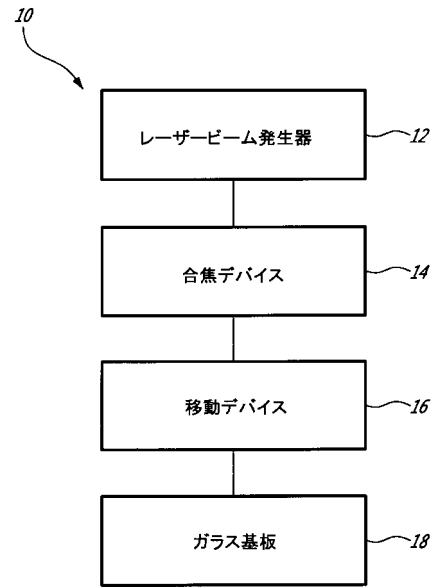
【0073】

理解することができるように、上述及び図解された例は、例示であることのみを意図している。例えば、本明細書に記載された実施形態は消耗を避ける傾向にあるものの、代替的な実施形態は異なる機能又は目的を達成するために消耗と組み合わせて実施できることが理解されるであろう。範囲は、添付の特許請求の範囲によって表される。

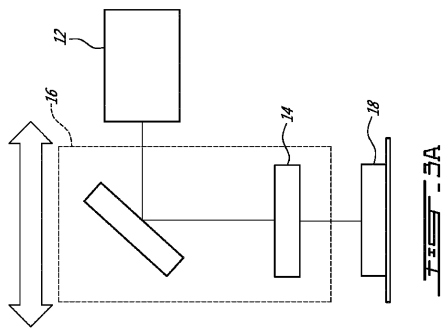
【図 1】



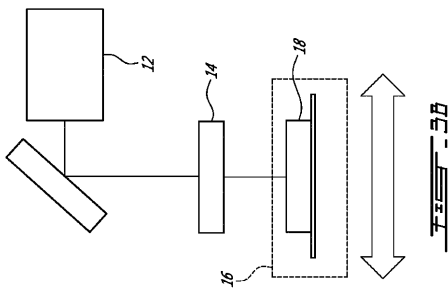
【図 2】



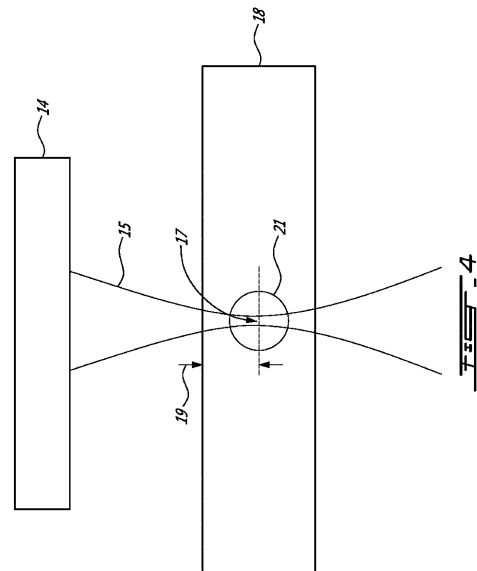
【図 3 A】



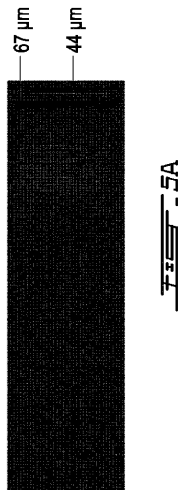
【図 3 B】



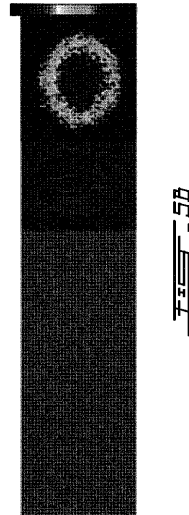
【図 4】



【図 5 A】



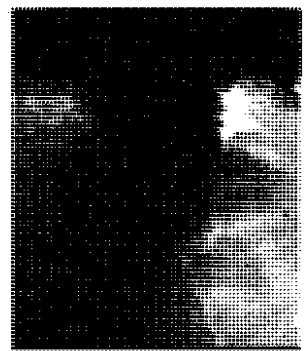
【図 5 B】



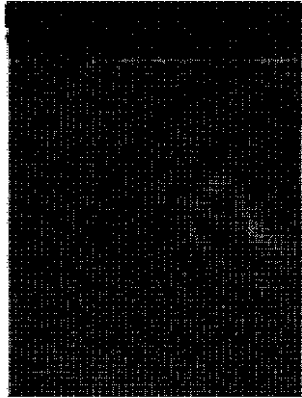
【図 6 A】



【図 6 B】



【図 6 C】



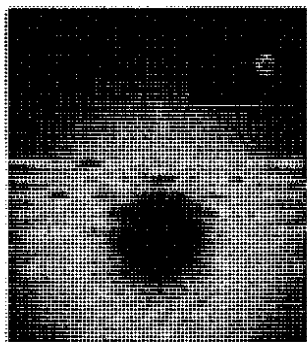
FE-6C

【図 6 D】



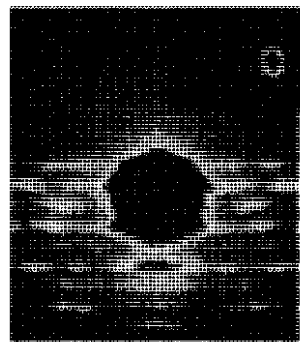
FE-6D

【図 6 E】



FE-6E

【図 6 F】



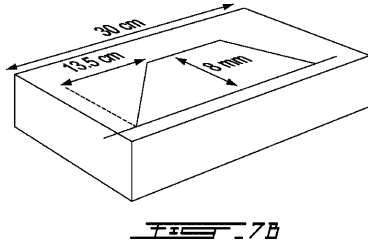
FE-6F

【図 7 A】

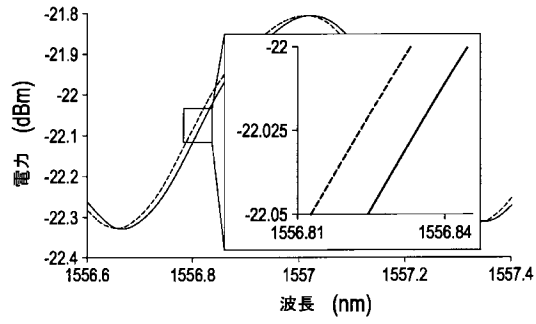


FE-7A

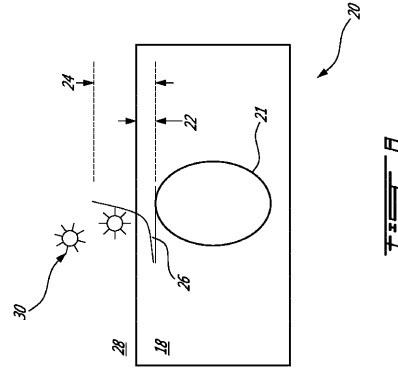
【図 7 B】



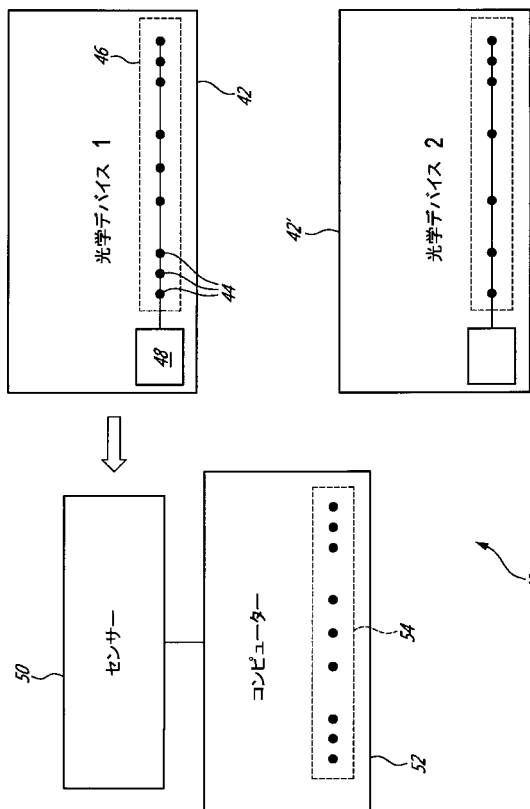
【図 7 C】



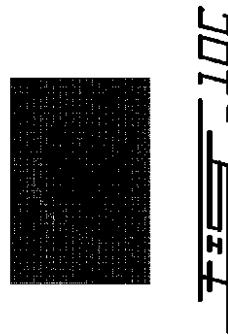
【図 8】



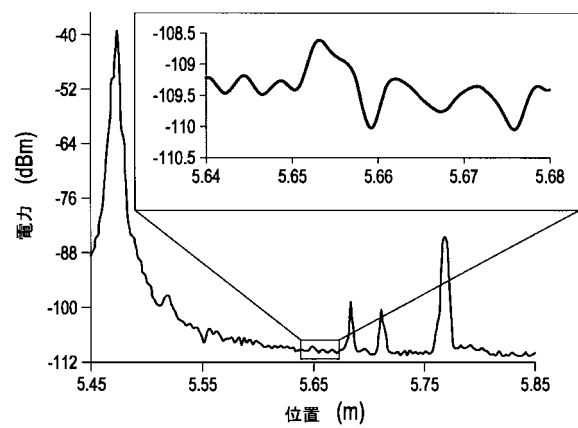
【図 9】



【図 10 C】



【図 11】



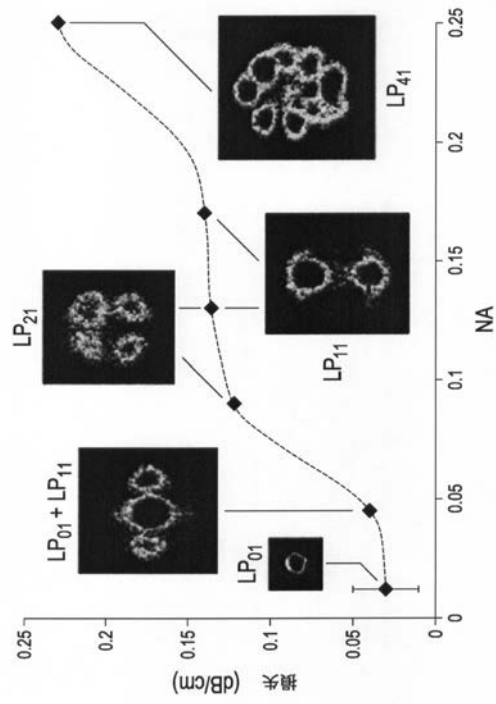
【図 10 A】



【図 10 B】



【図 12】



【国際調査報告】

INTERNATIONAL SEARCH REPORT		International application No. PCT/CA2014/051159
A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER IPC: B23K 26/364 (2014.01), B23K 26/402 (2014.01), G02B 6/12 (2006.01), G02B 6/13 (2006.01) According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
B. FIELDS SEARCHED		
Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) IPC: B23K 26/364 (2014.01), B23K 26/402 (2014.01), G02B 6/12 (2006.01), G02B 6/13 (2006.01)		
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched None		
Electronic database(s) consulted during the international search (name of database(s) and, where practicable, search terms used) Canadian Patent Database (Intellect) Questel-Orbit Internet Search (Google) ESPACENET Key words searched: femtosecond, laser, beam, focus, surface, depth, glass, substrate, waveguide, inscribe, write, writing, inscribing, insertion, loss, 'propagation loss', "gorilla glass", "media glass", "eagle glass", aluminosilicate, pulse, repetition, frequency, method, process, fabrication, technique		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	FUKUDA ET AL. "Low-loss optical waveguides written by femtosecond laser pulses for three-dimensional photonic devices" Lasers and Applications in Science and Engineering International Society for Optics and Photonics, 2004 Vol. 5339 Pgs. 524 - 538	3, 4, 6, 20, 28 to 30, 36, 37, 39, 41, 51 to 54 and 57
Y	July 2004 (downloaded on 11 February 2015) (see Abstract, Section 1 (Introduction), Section 2.1 (Writing Geometry), Section 3 (Optical Waveguide Writing), Section 4.2 (Pulse Duration and pulse energy dependence) and Section 8 (Conclusion))	1, 2, 5, 7 to 19, 21 to 27, 31 to 35, 38, 40, 42 to 50, 55 and 56
Y	US20130208358A1 PSAILA ET AL. (15 August 2013) (15-08-2013) (see paragraphs [0033], [0047], [0078], [0080] to [0083], [0096], [0100], [0101], [0104], [0105], [0118], [0119], [0121], [0123] and [0126] to [0128], along with figs. 1 and 11)	1, 2, 5, 7 to 19, 21 to 27, 32 to 35, 38, 40, 42 to 50, 55, 56 and 58 to 70
☒ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☒ See patent family annex.		
* Special categories of cited documents: "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "E" earlier application or patent but published on or after the international filing date "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed	"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art "&" document member of the same patent family	
Date of the actual completion of the international search 18 February 2015 (18-02-2015)		Date of mailing of the international search report 27 February 2015 (27-02-2015)
Name and mailing address of the ISA/CA Canadian Intellectual Property Office Place du Portage I, C114 - 1st Floor, Box PCT 50 Victoria Street Gatineau, Quebec K1A 0C9 Facsimile No.: 001-819-953-2476		Authorized officer Daniel Weslake (819) 997-2999

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CA2014/051159

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US8270788B2 HERMAN ET AL. (18 September 2012) (18-09-2013) (see col. 4, lines 11 to 27 and 41 to 64; col. 7, lines 38 to 45; col. 8, lines 51 to 64; col. 9, lines 19 to 56; col. 10, lines 6 to 65; col. 11, line 54 to col. 12, line 9; col. 12, lines 20 to 25; col. 15, lines 26 to 44; col. 16, lines 50 to 56 and col. 17, lines 8 to 10, along with figs. 2, 3 and 8(a))	71 to 78
Y		58 to 70
Y	EATON ET AL. "High refractive index contrast in fused silica waveguides by tightly focused, high-repetition rate femtosecond laser" Journal of Non-Crystalline Solids Volume 357, Issue 11 pp. 2387-2391 14 December 2010 (online publication)	31
A	http://xinankejixue.gotop1.com/uploads/soft/140109/1-140109133F4.pdf (downloaded on 11 February 2015) (see Abstract, Section 2 (Experimental) and Section 3 (Results))	1 to 30 and 32 to 78
A	EATON ET AL.(2) "Transition from thermal diffusion to heat accumulation in high repetition rate femtosecond laser writing of buried optical waveguides" Optics Express Vol. 16, Issue 13 pp. 9443-9458 (June 2008) http://dx.doi.org/10.1364/OE.16.009443 http://www.opticsinfobase.org/oe/viewmedia.cfm?uri=oe-16-13-9443&seq=0 (downloaded on 11 February 2015) (entire document)	1 to 78
A	TANG ET AL. "Fabrication and characterization of a fused silica-based optical waveguide with femtosecond fiber laser pulses" Microsystem Technologies Volume 18, Issue 11 pp. 1815-1821 15 Jun 2012 (online publication) ftp://140.123.79.144/DATA/%BD%D7%A4%E5%BBpaper%BA%DE%B2z/BOSSpaper/54-2012.mts00542-012-1563-4.pdf (downloaded on 11 February 2015) (entire document)	1 to 78
P, X	LAPOINTE ET AL. "Making smart phones smarter with photonics." Optics Express Vol. 22, Issue 13 pp. 15473-15483 (June 2014) (entire document)	1 to 78

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family membersInternational application No.
PCT/CA2014/051159

Patent Document Cited in Search Report	Publication Date	Patent Family Member(s)	Publication Date
US2013208358A1	15 August 2013 (15-08-2013)	US2013208358A1 EP2580613A1 GB201009810D0 WO2011154701A1	15 August 2013 (15-08-2013) 17 April 2013 (17-04-2013) 21 July 2010 (21-07-2010) 15 December 2011 (15-12-2011)
US8270788B2	18 September 2012 (18-09-2012)	US2009304331A1 CA2652823A1 WO2007134438A1	10 December 2009 (10-12-2009) 29 November 2007 (29-11-2007) 29 November 2007 (29-11-2007)

フロントページの続き

(81)指定国 AP(BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), EA(AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), EP(AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OA(BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG), AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US

(72)発明者 ラポワント ジェローム

カナダ ケベック モントリオール エドアールーモンプティ 2 9 4 5 アパルトマン 1

(72)発明者 ガーニュ マチュー

カナダ ケベック モントリオール エドアールーモンプティ 3 1 3 0 アパルトマン 3 0
4

Fターム(参考) 2H147 AA02 BA02 BD01 BE01 CA10 EA14A EA14B EA14C EA15A EA15B

EA15C FB13 FC09 FD16 FE04 GA13 GA19

4E168 AE01 DA02 DA40 DA47 JA14