

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号  
特開2003-286040  
(P2003-286040A)

(43)公開日 平成15年10月7日(2003.10.7)

(51)Int.Cl. <sup>7</sup>	識別記号	F I	テームト*(参考)
C 0 3 B 20/00		C 0 3 B 20/00	F 4 G 0 1 4
8/04		8/04	A
			P

審査請求 有 請求項の数 3 O L (全 5 頁)

(21)出願番号 特願2002-89667(P2002-89667)

(22)出願日 平成14年3月27日(2002.3.27)

(71)出願人 396020800  
科学技術振興事業団  
埼玉県川口市本町4丁目1番8号

(71)出願人 000000044  
旭硝子株式会社  
東京都千代田区有楽町一丁目12番1号

(72)発明者 細野 秀雄  
神奈川県大和市下鶴間2786-4-212

(72)発明者 平野 正浩  
東京都世田谷区松原5-5-6

(74)代理人 100108671  
弁理士 西 義之

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 合成石英ガラス

(57)【要約】

【課題】 波長150~190nmの紫外線を光源とする装置に用いられ、波長150~190nmの紫外光に対する耐紫外線性に優れた合成石英ガラスの提供を目的とする。

【構成】 波長150~200nmの光に使用される合成石英ガラスにおいて、合成石英ガラス中のOH基濃度が1ppm未満であり、酸素過剰型欠陥濃度が $1 \times 10^{16}$ 個/cm<sup>3</sup>以下、水素分子濃度が $1 \times 10^{17}$ 分子/cm<sup>3</sup>未満、かつキセノンエキシマランプ光を照度10mW/cm<sup>2</sup>で3kJ/cm<sup>2</sup>照射した後、またはF<sub>2</sub>レーザ光をエネルギー密度10mJ/cm<sup>2</sup>/パルスで10<sup>7</sup>パルス照射した後の非架橋酸素ラジカルの濃度が $1 \times 10^{16}$ 個/cm<sup>3</sup>以下であることを特徴とする合成石英ガラス。

## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 波長150～200nmの光に使用される合成石英ガラスにおいて、合成石英ガラス中のOH基濃度が1ppm未満であり、酸素過剰型欠陥濃度が $1 \times 10^{16}$ 個/cm<sup>3</sup>以下、水素分子濃度が $1 \times 10^{17}$ 分子/cm<sup>3</sup>未満、かつキセノンエキシマランプ光を照度10mW/cm<sup>2</sup>で3kJ/cm<sup>2</sup>照射した後の非架橋酸素ラジカルの濃度が $1 \times 10^{16}$ 個/cm<sup>3</sup>以下であることを特徴とする合成石英ガラス。

【請求項2】 波長150～200nmの光に使用される合成石英ガラスにおいて、合成石英ガラス中のOH基濃度が1ppm未満であり、酸素過剰型欠陥濃度が $1 \times 10^{16}$ 個/cm<sup>3</sup>以下、水素分子濃度が $1 \times 10^{17}$ 分子/cm<sup>3</sup>未満、かつF<sub>2</sub>レーザー光をエネルギー密度10mJ/cm<sup>2</sup>/パルスで10<sup>7</sup>パルス照射した後の非架橋酸素ラジカルの濃度が $1 \times 10^{16}$ 個/cm<sup>3</sup>以下であることを特徴とする合成石英ガラス。

【請求項3】 酸素欠乏型欠陥濃度が $1 \times 10^{14}$ 個/cm<sup>3</sup>以下であることを特徴とする請求項1または2記載の合成石英ガラス。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、波長150～200nmの紫外線を光源とする装置に用いられる光学部材用合成石英ガラスとその製造方法に関し、詳しくは、ArFエキシマレーザー(193nm)、F<sub>2</sub>レーザー(157nm)、低圧水銀ランプ(185nm)、エキシマランプ(Xe-Xe:172nm)などの真空紫外～紫外光用のレンズ、プリズム、フォトマスク、窓材、ペリクルなどの光学部品として用いられる合成石英ガラスに関する。

## 【0002】

【従来の技術】合成石英ガラスは、近赤外から真空紫外域にわたる広範囲の波長域に亘って透明な材料であること、熱膨張係数が極めて小さく寸法安定性に優れていること、また、金属不純物をほとんど含有せず高純度であることなどの特徴がある。そのため、従来のg線、i線を光源として用いた光学装置の光学部材には合成石英ガラスが主に用いられてきた。

【0003】近年、LSIの高集積化に伴い、ウエハ上に集積回路パターンを描画する光リソグラフィ技術において、より線幅の短い微細な描画技術が要求されており、これに対応するために露光光源の短波長化が進められている。すなわち、例えば、リソグラフィ用ステップの光源は、従来のg線(436nm)、i線(365nm)から進んで、ArFエキシマレーザーやF<sub>2</sub>レーザーが用いられようとしている。

【0004】また、低圧水銀ランプ(185nm)やエキシマランプ(Xe-Xe:172nm)は、光CVDなどの装置、シリコンウエハの洗浄またはオゾン発生装

置などに用いられており、また、今後、光リソグラフィ技術に適用すべく開発が進められている。低圧水銀ランプやエキシマランプに用いられるランプのガス封入管、または前述の短波長光源を用いた光学装置に用いられる光学素子にも合成石英ガラスを用いる必要がある。これらの光学系に用いられる合成石英ガラスは、紫外域～真空紫外域に亘る波長での光透過性が要求されるとともに、光照射により使用波長における透過率が低下しないこと(以下、「耐紫外線性」という)が要求される。

【0005】従来の合成石英ガラスでは、ArFエキシマレーザーやF<sub>2</sub>レーザーなどの高エネルギー光源からの光を照射すると、紫外線領域に新たな吸収帯を生じるため使用波長における透過率が低下し、ArFエキシマレーザーやF<sub>2</sub>レーザーなどを光源とした光学系を構築する際の光学部材として耐紫外線性に問題があった。

【0006】ArFエキシマレーザーやF<sub>2</sub>レーザーなどの紫外光を長時間照射すると、いわゆるE'センター(Si・)と呼ばれる214nmを中心とする吸収帯(以下、「214nm吸収帯」という)と、NBOHC(非架橋酸素ラジカル: Si-O・)と呼ばれる260nmを中心とする吸収帯(以下、「260nm吸収帯」という)とが生成することが知られており、これら吸収帯の生成により波長190～280nmの広い波長域にわたって光透過率が低下する。しかしながら、紫外光を長時間照射した場合、これら吸収帯の中心波長と離れた波長155～190nmにおいても光透過率が低下し、同波長域を光源とする光学装置の光学部材として使用する場合、耐紫外線性に問題があった。

【0007】特開2001-180962号公報には、合成石英ガラス中のOH基濃度が10ppm以下、水素分子濃度が $1 \times 10^{17}$ 分子/cm<sup>3</sup>未満であって、実質的に還元型欠陥を含まないものとすることによって、波長172nmの紫外線を10mW/cm<sup>2</sup>で10kJ/cm<sup>2</sup>照射した後の波長150～200nmにおける吸光係数の変化量が0.2cm以下とした合成石英ガラスが開示されている。

## 【0008】

【発明が解決しようとする課題】本発明は、波長150～190nmの紫外線を光源とする装置に用いられ、波長150～190nmの紫外光に対する耐紫外線性に優れた合成石英ガラスの提供を目的とする。

## 【0009】

【課題を解決するための手段】本発明者らが、耐紫外線性について詳細な研究を行った結果、合成石英ガラスに生じる吸収帯には、214nm吸収帯と260nm吸収帯以外に、NBOHCによる180nmを中心とする吸収帯(以下、「180nm吸収帯」という)が存在することを初めて知見した。紫外線を照射した場合、波長150～190nmにおける光透過率低下はNBOHC生成が主因であり、透過率低下を低減するためには、生成

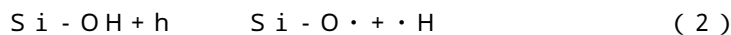
するNBOHCの濃度を所定の値以下に抑制することが必要であり、そのためには、合成石英ガラス中のOH基および酸素過剰型欠陥 ( $\text{Si-O-O-Si}$ ) を所定の濃度範囲に制御すればよいことを見出した。

【0010】すなわち、本発明は、波長150～200nmの光に使用される合成石英ガラスにおいて、合成石英ガラス中のOH基濃度が1ppm未満であり、酸素過剰型欠陥濃度が $1 \times 10^{16}$ 個/cm<sup>3</sup>以下、水素分子濃度が $1 \times 10^{17}$ 分子/cm<sup>3</sup>未満、かつキセノンエキシマランプ光を照度10mW/cm<sup>2</sup>で3kJ/cm<sup>2</sup>照射した後の非架橋酸素ラジカルの濃度が $1 \times 10^{16}$ 個/cm<sup>3</sup>以下であることを特徴とする合成石英ガラスを提供する。

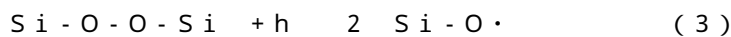
$$C_{\text{NBOHC}} \text{ (個/cm}^3\text{)} = 2.4 \times 10^{17} \times \alpha_{180} \text{ (cm}^{-1}\text{)} \quad (1)$$

NBOHCの濃度を $1 \times 10^{16}$ 個/cm<sup>3</sup>以下に抑えることにより180nm吸収帯の生成を低減することができ、優れた耐紫外線性を得ることができる。

【0013】合成石英ガラス中のOH基は、式(2)に



【0014】合成石英ガラス中の酸素過剰型欠陥は、 $\text{Si-O-O-Si}$ 構造のことを意味し、OH基と同様、式(3)に従って紫外線照射によりNBOHCとな



【0015】ここで、合成石英ガラス中の酸素過剰型欠陥濃度は、合成石英ガラスを水素ガス含有雰囲気中で加熱処理し、酸素過剰型欠陥をSiOH基に置換することにより評価できる。具体的な評価方法を以下に述べる。厚み10mmの合成石英ガラス試料を水素ガス、100%、1気圧雰囲気下にて温度1000℃にて50時間保

$$C_{\text{POL}} \text{ (個/cm}^3\text{)} = 3.68 \times 10^{16} \times \text{OH (重量ppm)} \quad (4)$$

【0016】また、本発明の合成石英ガラス中の水素分子濃度は $1 \times 10^{17}$ 分子/cm<sup>3</sup>以下であることが好ましい。合成石英ガラス中の水素分子濃度が $1 \times 10^{17}$ 分子/cm<sup>3</sup>より高い場合、紫外線照射により酸素欠乏型(還元型)欠陥が生成し、同欠陥は163nmを中心とした光吸収帯を有するため、耐紫外線性が著しく損なわれる。

【0017】また、合成石英ガラス中の酸素欠乏型欠陥( $\text{Si-Si}$ )は、163nmを中心とする光吸収帯を有し、初期光透過性を低下させるため好ましくない。具体的には、酸素欠乏型欠陥濃度は $1 \times 10^{14}$ 個/cm<sup>3</sup>以下であることが好ましい。

【0018】また、本発明において、合成石英ガラス中の金属不純物(アルカリ金属、アルカリ土類金属、遷移金属等)や塩素は、真空紫外域～紫外域における透過率を低下させるだけでなく耐紫外線性を低下させる原因ともなるため、その含有量は少ない方が好ましい。金属不純物の含有量は100ppb以下、特に10ppb以下が好ましい。塩素濃度は、100ppm以下、特に10ppm以下、さらには1ppm以下が好ましい。

【0011】また、本発明は、波長150～200nmの光に使用される合成石英ガラスにおいて、合成石英ガラス中のOH基濃度が1ppm未満であり、酸素過剰型欠陥濃度が $1 \times 10^{16}$ 個/cm<sup>3</sup>以下、水素分子濃度が $1 \times 10^{17}$ 分子/cm<sup>3</sup>未満、かつF<sub>2</sub>レーザー光をエネルギー密度10mJ/cm<sup>2</sup>/パルスで10<sup>7</sup>パルス照射した後の非架橋酸素ラジカルの濃度が $1 \times 10^{16}$ 個/cm<sup>3</sup>以下であることを特徴とする合成石英ガラスを提供する。

【0012】NBOHC濃度 $C_{\text{NBOHC}}$  (個/cm<sup>3</sup>)と180nm吸収係数 $\alpha_{180}$  (cm<sup>-1</sup>)との関係は式(1)により与えられ、

従って紫外線照射によりNBOHCとなり、耐紫外線性を低下させるだけでなく初期光透過性にも悪影響を与えるため、合成石英ガラス中のOH基濃度は低い方が好ましく、具体的には1ppm以下が好ましい。

り耐紫外線性を低下させるため、合成石英ガラス中の酸素過剰型欠陥濃度は低い方が好ましく、具体的には $1 \times 10^{16}$ 個/cm<sup>3</sup>以下が好ましい。

持する。同処理の前後で赤外分光光度計による測定を行い、波長2.7μmにおける吸収ピーク強度からOH濃度の変化量 $\Delta \text{OH}$  (重量ppm)を求め(Cer. Bull., 55(5), 524, (1976))、酸素過剰型欠陥濃度 $C_{\text{POL}}$  (個/cm<sup>3</sup>)は次式(4)で与えられる。

【0019】本発明の光学用合成石英ガラスは、直接法、スート法(VAD法、OVD法)やプラズマ法により製造できる。特に、合成石英ガラス中のOH基濃度を比較的容易に制御でき、合成時の温度が低いために塩素や金属などの不純物の混入を避ける上で有利なことから、スート法が好ましい。

【0020】

【実施例】(実施例および比較例)ヘキサメチルジシラザンを原料として酸水素火炎中で加水分解させて形成された石英ガラス微粒子を基材上に堆積させて多孔質石英ガラス体(直径300mm、長さ600mm)を作製した。この多孔質石英ガラス体を雰囲気制御可能な電気炉にセットし、表1に示す雰囲気にて温度1450℃まで昇温することにより、透明石英ガラス体(直径200mm、長さ300mm)を得た。

【0021】得られた透明石英ガラス体の中央より直径200mm×20mm厚の試料を切出し、表1に示す条件にて後処理を実施した。さらに、同試料中央より、20mm×10mm厚、20mm厚×30mm厚の試料をそれぞれ数個切出し、20mmの2面を鏡面研磨

し、評価用サンプルを作製した。評価用サンプルを用いて以下の各評価を実施した。

【0022】(OH基濃度)10mm厚試料について赤外分光光度計による測定を行い、2.7μm波長での吸収ピークからOH濃度を求めた(Cer.Bull., 55(5), 524, (1976))。本法による検出限界は0.1重量ppmである。

【0023】(水素分子濃度)10mm厚試料についてラマン分析を実施し、レーザラマンスペクトルの4135cm<sup>-1</sup>の散乱ピークにより検出した強度I<sub>4160</sub>と珪素と酸素との間の基本振動である800cm<sup>-1</sup>の散乱ピークの強度I<sub>800</sub>との強度比(=I<sub>4160</sub>/I<sub>800</sub>)より、水素分子濃度(分子/cm<sup>3</sup>)を求めた(V.S.Khotimchenko, et al., Zhurnal Prikladnoi Spektroskopii, Vol.46, No.6, PP.987~997, 1986)。なお、本法による検出限界は3×10<sup>16</sup>分

$$C_{ODC} = 4.5 \times 10^{15} \times \ln(T_{10} / T_{30}) \quad (5)$$

T<sub>10</sub>: 10mm厚試料の163nm透過率(%)

T<sub>30</sub>: 30mm厚試料の163nm透過率(%)

【0026】(初期透過率および耐光性)10mm厚試料について、キセノンエキシマランプ光(中心波長172nm, 照度10mW/cm<sup>2</sup>)を100時間照射し、照射前後における150~400nm透過率を真空紫外分光光度計(アクトニリサーチVTMS502)および紫外分光光度計(日立製作所U4000)を用いて測定し、照射前後の172nm初期透過率を評価した。

【0027】さらに、式(6)により150~400nm

$$(\quad) = \ln(T_{bef}(\quad) / T_{aft}(\quad)) \quad (6)$$

( ): 波長 nmにおける紫外線照射誘起吸収係数(cm<sup>-1</sup>)

T<sub>bef</sub>( ): 波長 nmにおける紫外線照射前透過率(%)

T<sub>aft</sub>( ): 波長 nmにおける紫外線照射後透過率(%)

【0029】評価結果を表1に示す。表1において、例10及び例11が実施例であり、その他は比較例である。例10のNBOHC濃度は4.9×10<sup>15</sup>/cm<sup>3</sup>であり、キセノンエキシマランプ光の照射前の172nm

子/cm<sup>3</sup>である。

【0024】(酸素過剰型欠陥濃度)10mm厚試料について水素ガス、100%、1気圧雰囲気下にて温度1000にて50時間保持する。同処理の前後で赤外分光光度計による測定を行い、波長2.7μmにおける吸収ピーク強度からOH濃度の変化量OH(重量ppm)を求め(Cer.Bull., 55(5), 524, (1976))、酸素過剰型欠陥濃度C<sub>POL</sub>(個/cm<sup>3</sup>)を式(4)により算出した。同法による検出限界は1×10<sup>16</sup>個/cm<sup>3</sup>である。

【0025】(酸素欠乏型欠陥濃度)真空紫外分光光度計(アクトニリサーチVTMS502)を用いて、10mm厚試料と30mm厚試料の163nm透過率を測定し、下式(5)により酸素欠乏型欠陥濃度C<sub>ODC</sub>(個/cm<sup>3</sup>)を算出した。同法による検出限界は1×10<sup>14</sup>個/cm<sup>3</sup>である。

mにおける紫外線照射誘起吸収係数( )を算出

し、さらに、酸素欠乏型欠陥が検出されなかった試料について、得られた吸収スペクトルを180nm, 220nm, 260nmを中心とする3本のガウス関数でカーブフィッティングを行うことにより、180nm吸収帯の吸収強度(180nm)(cm<sup>-1</sup>)を算出し、NBOHC濃度C<sub>NBOHC</sub>(個/cm<sup>3</sup>)を式(1)により計算、評価した。

【0028】

m透過率88.9%が照射後に86.9%とわずかに低下しているだけであり、例11は同じく89.0%が86.8%とわずかに低下しているだけである。比較例の中で例6はNBOHC濃度はやや低いがOH基濃度が大きく、例1は酸素欠乏型欠陥濃度が大きく、いずれも透過率の低下がやや大きくなり、他の比較例は透過率の低下が著しく大きい。

【0030】

【表1】

	透明ガラス化工程 における雰囲気	後処理 条件	OH基 濃度 (ppm)	水素分子 濃度 [ $\text{cm}^{-3}$ ]	酸素過剰型 欠陥濃度 [ $\text{cm}^{-3}$ ]	酸素欠乏型 欠陥濃度 [ $\text{cm}^{-3}$ ]	172nm 照射前透過率 (%)	172nm 照射後透過率 (%)	NBOHC 濃度 [ $\text{cm}^{-3}$ ]
例1	$\text{Cl}_2/\text{He}=2/98\%$ 101kPa	後処理無し	<0.1	$<5 \times 10^{16}$	$<1 \times 10^{16}$	$9 \times 10^{14}$	84.2	79.2	未評価
例2	$\text{H}_2=100\%$ 101kPa	後処理無し	<0.1	$2 \times 10^{18}$	$<1 \times 10^{16}$	$2 \times 10^{14}$	81.8	23.3	未評価
例3	$\text{O}_2/\text{He}=10/90\%$ 101kPa	後処理無し	160	$<5 \times 10^{16}$	$2 \times 10^{17}$	$<1 \times 10^{14}$	88.0	56.4	$9.6 \times 10^{16}$
例4	$\text{O}_2/\text{He}=5/95\%$ 101kPa	後処理無し	150	$<5 \times 10^{16}$	$8 \times 10^{18}$	$<1 \times 10^{14}$	88.9	62.7	$7.5 \times 10^{16}$
例5	$\text{He}=100\%$ 101kPa	後処理無し	160	$<5 \times 10^{16}$	$<1 \times 10^{16}$	$<1 \times 10^{14}$	88.8	68.3	$5.6 \times 10^{16}$
例6	$\text{He}=100\%$ 100Pa	後処理無し	8.3	$<5 \times 10^{18}$	$<1 \times 10^{16}$	$<1 \times 10^{14}$	88.9	80.2	$2.2 \times 10^{16}$
例7	$\text{He}=100\%$ 10Pa	$\text{H}_2$ 100% 1atm 200hr	0.5	$2 \times 10^{17}$	$<1 \times 10^{16}$	$<1 \times 10^{14}$	88.8	57.9	未評価
例8	$\text{He}=100\%$ 10Pa	$\text{H}_2$ 100% 10atm 200hr	0.7	$2 \times 10^{18}$	$<1 \times 10^{16}$	$<1 \times 10^{14}$	89.0	21.4	未評価
例9	$\text{He}=100\%$ 10Pa	$\text{O}_2$ 100% 1atm 200hr	0.4	$<5 \times 10^{16}$	$2 \times 10^{18}$	$<1 \times 10^{14}$	88.3	75.1	$3.5 \times 10^{16}$
例10	$\text{He}=100\%$ 10Pa	後処理無し	0.6	$<5 \times 10^{16}$	$<1 \times 10^{16}$	$<1 \times 10^{14}$	88.9	86.9	$4.9 \times 10^{15}$
例11	$\text{SiF}_4/\text{He}=5/95\%$ 101kPa	後処理無し	<0.1	$<5 \times 10^{16}$	$<1 \times 10^{16}$	$<1 \times 10^{14}$	89.0	86.8	$5.4 \times 10^{15}$

フロントページの続き

(72)発明者 梶原 浩一  
神奈川県川崎市高津区久本3-8-9 ベ  
ルウッド溝口306

(72)発明者 生田 順亮  
神奈川県横浜市神奈川区羽沢町1150番地  
旭硝子株式会社内

(72)発明者 菊川 信也  
神奈川県横浜市神奈川区羽沢町1150番地  
旭硝子株式会社内

Fターム(参考) 4G014 AH14 AH21