

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第5543395号
(P5543395)

(45) 発行日 平成26年7月9日(2014.7.9)

(24) 登録日 平成26年5月16日(2014.5.16)

(51) Int.Cl. F I
CO3C 3/21 (2006.01) CO3C 3/21
GO2B 1/02 (2006.01) GO2B 1/02

請求項の数 10 (全 50 頁)

(21) 出願番号 特願2011-37349 (P2011-37349)
 (22) 出願日 平成23年2月23日 (2011. 2. 23)
 (65) 公開番号 特開2012-171848 (P2012-171848A)
 (43) 公開日 平成24年9月10日 (2012. 9. 10)
 審査請求日 平成24年7月23日 (2012. 7. 23)

(73) 特許権者 000113263
 H O Y A 株式会社
 東京都新宿区中落合2丁目7番5号
 (74) 代理人 110000109
 特許業務法人特許事務所サイクス
 (72) 発明者 藤原 康裕
 東京都新宿区中落合2丁目7番5号 H O
 Y A 株式会社内
 (72) 発明者 野島 由雄
 東京都新宿区中落合2丁目7番5号 H O
 Y A 株式会社内
 審査官 立木 林

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 光学ガラス、プレス成形用ガラス素材および光学素子

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

酸化物ガラスであって、

カチオン%表示にて、

P⁵⁺を14~36%、

B i³⁺を12~34%、

N b⁵⁺を12~34%、

T i⁴⁺を5~20%、

W⁶⁺を0~22%

含み、

B i³⁺、N b⁵⁺、T i⁴⁺およびW⁶⁺の合計含有量が50%以上、

ヌーブ硬度が370以上、屈折率n_dが2.02以上、アッペ数 dが19.0以下であることを特徴とするプレス成形用ガラス素材または光学素子に用いるための光学ガラス(但し、ガラスフリット及び基板上に形成されたガラス層に用いる場合を除く)。

【請求項2】

K⁺およびB a²⁺の合計含有量が16%以下である請求項1に記載の光学ガラス。

【請求項3】

K⁺、B a²⁺およびB³⁺の合計含有量を22%以下である請求項1または2に記載の光学ガラス。

【請求項4】

$B i^{3+}$ 、 $N b^{5+}$ 、 $T i^{4+}$ および W^{6+} の合計含有量 ($B i^{3+} + N b^{5+} + T i^{4+} + W^{6+}$) に対する $B i^{3+}$ の含有量のカチオン比 ($B i^{3+} / (B i^{3+} + N b^{5+} + T i^{4+} + W^{6+})$) が0.6以下である請求項 1 ~ 3 のいずれか 1 項に記載の光学ガラス。

【請求項 5】

$Z n^{2+}$ の含有量がカチオン%表示にて0~2%である請求項 1 ~ 4 のいずれか 1 項に記載の光学ガラス。

【請求項 6】

請求項 1 ~ 5 のいずれか 1 項に記載の光学ガラスからなるプレス成形用ガラス素材。

【請求項 7】

請求項 1 ~ 5 のいずれか 1 項に記載の光学ガラスからなる光学素子であって、前記光学素子がレンズ、プリズムまたはレンズ機能付きプリズムである、光学素子。

10

【請求項 8】

請求項 1 ~ 5 のいずれか 1 項に記載の光学ガラスを機械加工する工程を備えるプレス成形用ガラス素材の製造方法。

【請求項 9】

請求項 6 に記載のプレス成形用ガラス素材をプレス成形する工程を有する光学素子の製造方法。

【請求項 10】

請求項 1 ~ 5 のいずれか 1 項に記載の光学ガラスを機械加工する工程を備える光学素子の製造方法。

20

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、光学ガラス、プレス成形用ガラス素材および光学素子に関する。

【背景技術】

【0002】

近年、撮像装置のコンパクト化に伴い、高屈折率高分散ガラス製レンズの需要が高まっている。このようなレンズ材料としては、特許文献 1、2 に開示されているリン酸塩系の組成をベースとする高屈折率高分散光学ガラスが用いられている。

【先行技術文献】

30

【特許文献】

【0003】

【特許文献 1】特開 2006 - 111499 号公報

【特許文献 2】特開 2007 - 15904 号公報

【非特許文献】

【0004】

【非特許文献 1】K. Balasubramanian, "Relativistic Effects in Chemistry Part A", John Wiley & Sons, New York, 1997.

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

40

【0005】

高ズーム比、広角のレンズを提供するためには、屈折率 n_d が 2.02 以上、アッペ数が 19 以下となるような超高屈折率の高分散ガラスが有効である。

一方で、光学ガラスに求められる特性としては、カメラ設計者等、使用者から求められる光学特性、たとえば屈折率特性や透過率特性が挙げられるが、工業製品としての光学ガラスを生産性よく製造するためには、ガラスの製造工程の搬送における耐擦傷性を決定する機械的特性を一定の水準に高めることが不可欠となる。

【0006】

例えば研磨によって光学素子の光学機能面を形成する場合、切削や研削といった機械加工によって、ガラス表面は弾性ひずみ、塑性ひずみ、およびクラック生成などをともない

50

ながら除去される。次に表面の除去量が少ない研磨工程および化学的エッチング工程によって、滑らかな光学機能面が形成される。

ここで光学ガラスの機械的強度が小さすぎると、切削や研削工程での表面の損傷が激し過ぎて、研磨工程で除去できないような傷が光学面に残存してしまう。または表面の除去量が相対的に小さい研磨工程や、ガラスを洗浄する超音波洗浄工程においても、ガラスが軟らかいために、粗大な砥粒の転がりや、超音波のキャビテーションといったわずかな機械的作用で傷が発生するなど、レンズ表面に傷がつく可能性が高まる。以上のことから、研磨工程を経るガラスでは機械的強度が高いことが必要となる。

【 0 0 0 7 】

精密プレス成形等によって光学機能面を形成する場合も、同様に機械的強度の向上が必要である。精密プレス成形に供する成形前駆体（プリフォーム）を研磨によって作る場合は、研磨によって作製されたレンズと同様の問題によってプリフォームに傷が発生し、それを精密プレス成形すると傷の一部または全部がレンズの光学機能面に残存する。

10

【 0 0 0 8 】

また、プリフォームを研磨せず熔融ガラスの滴下等によって成形した場合は、プリフォームの研磨工程を省略することができるが、プリフォームを洗浄したり、プレス成形型へ搬送・位置合わせする際にプリフォーム表面が洗浄治具、搬送器具、位置合わせ器具などに接触する工程数が増加する。その結果、プリフォーム表面に物理的な傷が発生する可能性が高まる。上記のように傷が発生したプリフォームを精密プレス成形すると光学素子の光学機能面に傷の一部または全部が残存する。

20

更に、研磨工程・精密プレス成形工程によらず、光学機能面を形成したガラスを徐冷・洗浄・芯取り・成膜・検査工程と経てレンズ製品とする際にも、これらの工程に用いられる器具との接触によって、光学機能面に傷がつくことがある。

【 0 0 0 9 】

このような問題は、光学ガラスの高屈折率高分散化に伴い顕著になってきている。

本発明は、上記問題を解決し、屈折率 n_d が2.02以上、アッベ数 d が19.0以下の高屈折率高分散特性を有しながら、高品質の光学素子の製造に適した機械的特性を有する光学ガラスを提供することを目的とする。さらに本発明の目的は、この光学ガラスからなるプレス成形用ガラス素材及び光学素子を提供することにある。加えて、本発明の目的は、この光学ガラスからのプレス成形用ガラス素材の製造方法を提供することにある。

30

【課題を解決するための手段】

【 0 0 1 0 】

本発明は、上記課題を解決するための手段として、以下の手段を提供するものである。

[1]

酸化物ガラスであって、

カチオン%表示にて、

P^{5+} を14～36%、

$B i^{3+}$ を12～34%、

$N b^{5+}$ を12～34%、

$T i^{4+}$ を5～20%、

W^{6+} を0～22%

40

含み、

$B i^{3+}$ 、 $N b^{5+}$ 、 $T i^{4+}$ および W^{6+} の合計含有量が50%以上、

ヌーブ硬度が370以上、屈折率 n_d が2.02以上、アッベ数 d が19.0以下であることを特徴とする光学ガラス。

[2]

K^+ および $B a^{2+}$ の合計含有量が16%以下である [1] に記載の光学ガラス。

[3]

K^+ 、 $B a^{2+}$ および B^{3+} の合計含有量を22%以下である [1] または [2] に記載の光学ガラス。

50

[4]

$B i^{3+}$ 、 $N b^{5+}$ 、 $T i^{4+}$ および W^{6+} の合計含有量 ($B i^{3+} + N b^{5+} + T i^{4+} + W^{6+}$) に対する $B i^{3+}$ の含有量のカチオン比 ($B i^{3+} / (B i^{3+} + N b^{5+} + T i^{4+} + W^{6+})$) が0.6以下である [1] ~ [3]のいずれかに記載の光学ガラス。

[5]

[1] ~ [4]のいずれかに記載の光学ガラスからなるプレス成形用ガラス素材。

[6]

[1] ~ [4]のいずれかに記載の光学ガラスからなる光学素子。

[7]

[1] ~ [4]のいずれかに記載の光学ガラスを機械加工する工程を備えるプレス成形用ガラス素材の製造方法。

10

[8]

[5]に記載のプレス成形用ガラス素材をプレス成形する工程を有する光学素子の製造方法。

[6]

[1] ~ [4]のいずれかに記載の光学ガラスを機械加工する工程を備える光学素子の製造方法。

【発明の効果】

【 0 0 1 1 】

本発明によれば、屈折率 n_d が2.02以上、アッベ数 d が19.0以下の高屈折率高分散特性を持ちながら、高品質の光学素子の製造に適した機械的特性を有する光学ガラスを提供することができる。さらに本発明によれば、前記光学ガラスからなるプレス成形用ガラス素材および光学素子を提供することができる。

20

【図面の簡単な説明】

【 0 0 1 2 】

【図1】図1は、 $T i$ 、 $N b$ 、 W 、 P 、および $B i$ について、 P を基準としてこれらのカチオン成分を相互に1カチオン%置換したときのモル体積とヌープ硬度の変化量を示すグラフである。

【図2】図2は、 $L i$ 、 $N a$ 、 K 、 B 、 $M g$ 、 $C a$ 、 $S r$ 、および $B a$ について、 $M g$ を基準としてこれらカチオン成分を相互に1カチオン%置換したときのモル体積とヌープ硬度の変化量を示すグラフである。

30

【発明を実施するための形態】

【 0 0 1 3 】

本発明者は前述の問題について鋭意検討したところ、次のような知見を得た。

高屈折率光学ガラスを実現するために必要なガラス成分を、各成分がガラスに与える特性の観点から分類すると、ガラスに所望の光学特性を付与する高屈折率高分散付与成分、ガラス形成を促進するが屈折率を低くするガラスネットワーク形成成分、およびガラスの溶解性を向上させるが屈折率をやや低くする修飾成分のように分類することができる。

【 0 0 1 4 】

高屈折率高分散ガラスは、ガラス成分として $B i$ 、 $T i$ 、 W 、 $N b$ などの高屈折率高分散化成分を多量に導入する必要がある。特に最近、高屈折率高分散性を与えつつ、ガラスの結晶化を抑制できる $B i$ の含有量が多くなる傾向にあり、一方で、 P や B 、 $S i$ といったガラスネットワークを強固にする成分が減少する傾向にある。このようなガラス成分の変化によって、ガラスの機械的強度の低下が無視できなくなってきた。

40

【 0 0 1 5 】

ガラスの原子構造は、 $B i$ や P といった元素がガラス中で陽イオンとして存在し、これに酸素イオンやフッ素イオンなどといった陰イオンが各々の価数に応じて複数個配位し、一部のイオン群の間を、逆の電荷を持ったイオン群によって架橋する、あるいは特定のイオン群が結合を終端するという形を考えることができる。さらにその構造中にわずかな H_2O や OH^- 、 CO_3^{2-} や SO_4^{2-} といったイオン群が存在することも考えられるが、主な構

50

造は陽イオンと陰イオンの結合から成ると考えられる。したがってガラス構造の構成単位を $Bi-O$ 、 $Bi-F$ 、 $Bi-(SO_4)$ などといった化学結合の集合から成ると考えることができる。したがってガラス内の結合の状態が、ガラスの機械的強度を決める要素となる。また価数 n_1 を持つ陽イオン M_1 と価数 n_2 を持つ陽イオン M_2 の置換は、ガラスが酸化物であればガラス中に平均 n_1 本の M_1-O 結合の密度を減少させ平均 n_2 本の M_2-O を増加させることになる。

【0016】

本発明者は、高屈折率高分散性を有するビスマス-リン酸系ガラスが、 MO_6 ($M = Bi, Nb, W, Ti$) の八面体と、 MO_4 ($M = P, B, Si$ など) の四面体を主に頂点で連結したランダムネットワーク構造から成り、その非結合酸素にアルカリ金属成分あるいはアルカリ土類金属成分が結合するというガラス構造のモデルを考え、その上でガラスの硬度とガラスのモル体積との相関に注目し、ガラスのモル体積を指標としてガラスの硬度を高めることを見出した。

10

【0017】

例えば、ガラスのネットワーク形成成分のうち占有体積の大きな P を、より占有体積の小さい B に置換したり、アルカリ金属成分のうちイオン半径の大きな K を、よりイオン半径の小さい Na や Li に置換したり、また高屈折率成分においてもイオン半径の大きい W を、よりイオン半径の小さい Ti に置換したりすることにより、モル体積減少とともに硬度が上昇する。また、アルカリ金属成分である Na を網目形成成分の B に置換、あるいは高屈折率のネットワーク形成成分である Nb などに置換することによっても、硬度が上昇する。

20

【0018】

さらに、高屈折率高分散ガラスにおいては、 Bi を増加させると、モル体積が減少するにもかかわらず硬度が低下するという傾向も見出した。この傾向は以下のように説明することができる。 Bi の導入によって酸化物ガラス中に $Bi-O$ 結合が形成される際、重元素である Bi の相対論効果によって、 $Bi\ 6s^2$ 電子対のエネルギー準位が上昇して $Bi\ 6s^2$ 電子対が原子核上に孤立化するとともに、 p 軌道を主体とする $Bi-O$ 結合性軌道の混成が弱められる(非特許文献1参照)。その結果、特定の方向の原子間距離が長く、結合角が大きくなるなど、 BiO 多面体構造にひずみが生じ、いわゆる立体化学的に活性な化学状態となる。以上のような重元素特有の特徴のために、 Bi をガラスに導入した際、 BiO 多面体が歪む効果によって単位体積に含まれる元素の数が増加してモル体積が減少し、同時に孤立原子対の存在を伴う原子間距離の拡大により、結合を切断するために要するエネルギーの少ない、すなわち機械的強度の増大に寄与しにくい結合が形成されたと考えることができる。

30

【0019】

これらのことから、ガラス成分と硬度について、以下のような因果関係があることを見出した。

【0020】

高屈折率高分散のビスマス-リン酸系ガラスの骨格となる陽イオン酸化物多面体を形成すると考えられる Ti 、 Nb 、 W 、 P 、および Bi をガラスの網目形成成分と見なし、 P を基準としてこれらの陽イオンを相互に1カチオン%置換したときのモル体積とヌーブ硬度の変化量を図1に示す。

40

【0021】

上記ガラスの骨格に対し修飾成分として働くと考えられる Li 、 Na 、 K 、 B 、 Mg 、 Ca 、 Sr 、および Ba を、 Mg を基準として相互に1カチオン%置換したときのモル体積とヌーブ硬度の変化量を図2に示す。

【0022】

図1、図2より、硬度を高める効果として、 $Ti > Nb > W >> Bi$ 、 $Nb > Na$ 、 $Li > Na > K$ 、 $Na > Ba > B$ 、 $Ca > Sr > Mg > Ba$ 、 $B > P$ 、 $P > Bi$ のような傾向があることがわかる。

ところで、ガラス材料の硬さを分類すると、押しこみ深さ、引っ掻き深さ、砥石研削硬

50

さ、摩耗硬さの4種類が挙げられる。ヌーブ硬度は、ピッカース硬度と同様にガラスの押し込み硬さを示す指標である。ガラス全般において、光学ガラスのように比較的硬く割れやすい材料では、くぼみのクラックは小さく、試験結果のばらつきが少ないとされている。そのため本発明において、ガラスの硬度はヌーブ硬度により評価することとする。

【0023】

以上に知見に基づき完成した本発明の光学ガラスは、酸化物ガラスであって、カチオン%表示にて、

P⁵⁺を14~36%、

B i³⁺を12~34%、

N b⁵⁺を12~34%、

T i⁴⁺を5~20%、

W⁶⁺を0~22%

含み、

B i³⁺、N b⁵⁺、T i⁴⁺およびW⁶⁺の合計含有量が50%以上、

ヌーブ硬度が370以上、屈折率n_dが2.02以上、アッペ数 dが19.0以下であることを特徴とする。

【0024】

本発明の光学ガラスは、屈折率n_dが2.02以上、アッペ数 dが19.0以下と超高屈折率高分散特性を有しながら、光学ガラスからなるガラス製品の製造に適した機械的強度を有するという特長を備えている。

なおヌーブ硬度の単位はMPaであるが、本発明が属する技術分野においてヌーブ硬度の単位を省略する慣例になっていることから、本発明においてもヌーブ硬度の単位を省略することとする。

【0025】

[ガラス組成]

本発明の光学ガラスは基本的に酸化物ガラスであり、O²⁻がアニオンの主成分である。O²⁻の含有量は90~100アニオン%を目安として考えればよい。O²⁻の含有量が上記範囲内であれば、他のアニオン成分としてF⁻、Cl⁻、Br⁻、I⁻、S²⁻、Se²⁻、N³⁻、NO₃⁻、あるいはSO₄²⁻などを含有させてもよい。その場合、F⁻、Cl⁻、Br⁻、I⁻、S²⁻、Se²⁻、N³⁻、NO₃⁻およびSO₄²⁻の合計含有量は、例えば、0~10アニオン%とすることができる。O²⁻の含有量を95アニオン%超あるいは98アニオン%超あるいは99アニオン%超としてもよいし、99.5アニオン%以上あるいは100アニオン%としてもよい。

【0026】

次に本発明の光学ガラスのカチオン成分について説明する。以下、特記しない限り、カチオン成分の含有量、合計含有量は、カチオン%表示とする。

P⁵⁺は、ガラスネットワーク形成成分であり、酸化物ガラス中で共有結合性の高いP-O結合を形成してイオン間の結合距離の多様化に寄与し、ガラス状態を熱的に安定化させる効果を有する。またT i、N b、Wらと酸素等を介した架橋結合を形成することでガラスの機械的強度を維持する成分である。一方でT i、N b、Wと比較するとガラスの構造を疎にする傾向があるため、T i、N b、Wと比較すると硬度を低下させる働きをする。P⁵⁺の含有量が14%未満であると、前記効果を得ることが困難となり、P⁵⁺の含有量が36%を越えると屈折率が低下し、ガラスの結晶化傾向が増大する傾向を示すため、P⁵⁺の含有量を14~36%とする。上記P⁵⁺の導入効果を得る上から、P⁵⁺の含有量の好ましい下限は18%、より好ましい下限は20%、さらに好ましい下限は22%、一層好ましい下限は24%、より一層好ましい下限は26%である。一方、高屈折率を維持する上からP⁵⁺の含有量の好ましい上限は31%、より好ましい上限は30%、さらに好ましい上限は29%、一層好ましい上限は28%である。

なお、P⁵⁺には、ガラスの熱的安定性改善によって、液相温度を低下させるとともに液相温度における粘度を上昇させ、高品質な光学ガラスの生産を容易にする効果もある。

【0027】

10

20

30

40

50

$B i^{3+}$ は、高屈折率高分散ガラスを得る上で必須の成分であり、適量を含有させることによりガラスの熱的安定性を改善する働きをする。また、ガラスの極性を変化させる作用を有する。しかし、ガラス中で $B i - O$ 結合が形成され、その酸素多面体が歪むことによりイオンの充填率は向上するが、 $B i$ 自体の内殻電子の存在により $B i$ の分極性が高まる結果、ガラス中の $B i - O$ の結合が弱くなる。このため高屈折率成分の中で最も硬度を低下させる働きをする。 $B i^{3+}$ の含有量が12%未満であると前記 $B i^{3+}$ の導入効果を得ることが困難となり、 $B i^{3+}$ の含有量が34%を超えると熱的安定性が低下するとともに、液相温度が上昇し、液相温度における粘度が低下する傾向を示し、高品質な光学ガラスを得る上から好ましくない。また、ガラスが黄色あるいは褐色に着色し、分光透過率特性における吸収端が長波長化する。したがって、 $B i^{3+}$ の含有量は12~34%とする。 $B i^{3+}$ の導入効果を得る上から、 $B i^{3+}$ の含有量の好ましい下限は14%、より好ましい下限は16%、さらに好ましい下限は18%、一層好ましい下限は20%、より一層好ましい下限は22%、さらに一層好ましい下限は23%、なお一層好ましい下限は24%である。ガラスの熱的安定性を維持する上から、 $B i^{3+}$ の含有量の好ましい上限は32%、より好ましい上限は30%、さらに好ましい上限は29%、一層好ましい上限は28%、より一層好ましい上限は27%、さらに一層好ましい上限は26%である。

10

【0028】

$N b^{5+}$ は、ガラスを高屈折率高分散化する働きのある成分であり、 $T i^{4+}$ に次いで強固な $N b - O$ 結合を形成してガラスの強度を高める成分であるが、イオンの充填率はやや低下することから、 $N b^{5+}$ 導入によるガラス強度の向上効果は $T i^{4+}$ よりは劣る。また、 $B i^{3+}$ および $T i^{4+}$ と共存することにより、ガラスの熱的安定性を維持する働きがある。さらに、ガラスの化学的耐久性を高め、ガラスの機械的強度を高める働きをする。 $N b^{5+}$ の含有量が12%未満であると上記 $N b^{5+}$ の導入効果を十分に得ることが困難であり、 $N b^{5+}$ の含有量が34%を超えると、ガラスの熱的安定性が低下し、液相温度が著しく上昇し、液相温度における粘度が低下して高品質な光学ガラスの生産が難しくなる。また、 $B i^{3+}$ 、 $T i^{4+}$ 、 W^{6+} ほどではないが、 $N b^{5+}$ の導入により分光透過率特性における吸収端がやや長波長化する傾向を示す。 $N b^{5+}$ の導入効果を得る上から、 $N b^{5+}$ の含有量の好ましい下限は14%、より好ましい下限は16%、さらに好ましい下限は17%、一層好ましい下限は18%、より一層好ましい下限は19%である。一方、ガラスの熱的安定性を維持する上から、 $N b^{5+}$ の含有量の好ましい上限は30%、より好ましい上限は27%、さらに好ましい上限は25%、一層好ましい上限は24%、より一層好ましい上限は23%、さらに一層好ましい上限は22%である。

20

30

【0029】

$T i^{4+}$ は、 $B i^{3+}$ 、 $N b^{5+}$ および W^{3+} とともに高屈折率高分散付与成分であるが、強固な $T i - O$ 結合を形成すると共にイオン充填率を高めることから、高屈折率高分散付与成分のうち、最もガラスの強度を高める働きが強い。また、ガラスの化学的耐久性を高める働きに加え、 $B i^{3+}$ および $N b^{5+}$ と共存することによってガラスの熱的安定性を高める働きがあるが、過剰導入により溶解温度が上昇して溶解性が悪化したり、ガラスが着色する。 $T i^{4+}$ の含有量が5%未満であると十分な $T i^{4+}$ の導入効果を得ることが困難となり、 $T i^{4+}$ の含有量が20%を超えると熱的安定性が低下、結晶化傾向が増大するとともに、液相温度が著しく上昇、液相温度における粘度が低下して高品質な光学ガラスを生産することが困難になる。また、分光透過率特性における吸収端が長波長化し、ガラスが褐色に着色する傾向を示す。したがって、 $T i^{4+}$ の含有量を5~20%とする。 $T i^{4+}$ の導入効果を十分得る上から、 $T i^{4+}$ の含有量の好ましい下限は6%、より好ましい下限は7%、さらに好ましい下限は8%である。また、ガラスの熱的安定性の維持、液相温度の上昇抑制、液相温度における粘度の維持、ガラスの着色抑制の観点から、 $T i^{4+}$ の含有量の好ましい上限は15%、より好ましい上限は13%、さらに好ましい上限は12%、一層好ましい上限は11%、より一層好ましい上限は10%である。

40

【0030】

W^{6+} は、ガラスを高屈折率高分散化し、ガラスの化学的耐久性、機械的強度を高める働

50

きをするが、 Nb^{5+} よりもイオンの充填率が低下することから、 W^{6+} 導入によるガラス強度の向上効果は Ti^{4+} や Nb^{5+} よりも劣ることから、本発明において W^{6+} は任意成分とする。 W^{6+} の含有量が22%を超えるとガラスの熱的安定性が低下し、結晶化傾向が高まり、ガラスの分光透過率特性における吸収端が長波長化し着色する。したがって、 W^{6+} の含有量は0~22%とする。 W^{6+} を適量導入することにより液相温度を低下させる効果があることから、 W^{6+} の含有量の好ましい下限は2%であり、より好ましい下限は3%であり、さらに好ましい下限は4%である。また、 W^{6+} の含有量の好ましい上限は18%、より好ましい上限は15%、さらに好ましい上限は12%、一層好ましい上限は10%、より一層好ましい上限は8%、さらに一層好ましい上限は6%である。

【0031】

なお、所要の高屈折率高分散光学ガラスを得るためには、 Bi^{3+} 、 Nb^{5+} 、 Ti^{4+} および W^{6+} の各含有量を上記範囲にすることに加え、 Bi^{3+} 、 Nb^{5+} 、 Ti^{4+} および W^{6+} の合計含有量を50%以上にする。 Bi^{3+} 、 Nb^{5+} 、 Ti^{4+} および W^{6+} の合計含有量の好ましい下限は55%、より好ましい下限は57%、さらに好ましい下限は58%、一層好ましい下限は60%、より一層好ましい下限は62%、さらに一層好ましい下限は63%、なお一層好ましい下限は64%、特に好ましい下限は65%である。なお、ガラス原料の溶解性を保ちガラスの安定性を維持する上から、 Bi^{3+} 、 Nb^{5+} 、 Ti^{4+} および W^{6+} の合計含有量を90%以下にすることが好ましく、80%以下にすることがより好ましく、70%以下にすることがさらに好ましい。

【0032】

ガラスの強度の一層改善を行う上から、高屈折率高分散付与成分である Bi^{3+} 、 Nb^{5+} 、 Ti^{4+} および W^{6+} の中でガラスの強度改善効果が最も小さい Bi^{3+} が高屈折率高分散付与成分の中に占める割合を制限することが好ましい。具体的には、 Bi^{3+} 、 Nb^{5+} 、 Ti^{4+} および W^{6+} の合計含有量($Bi^{3+} + Nb^{5+} + Ti^{4+} + W^{6+}$)に対する Bi^{3+} の含有量のカチオン比($Bi^{3+} / (Bi^{3+} + Nb^{5+} + Ti^{4+} + W^{6+})$)を0.6以下とすることが好ましい。上記比の下限は、0.25であることが好ましい。また上記比が0.6を超えると、ガラスの粘性が低下してガラスの熱的安定性が低下し失透を生じやすくなるとともに、ガラスの機械的強度も低下し、またガラスの吸収端が長波長側にシフトし可視光の透過性が悪化する傾向がある。上記比が0.25未満になると、ガラスの液相温度が上昇して結晶化傾向が増大し、均質性の高い高屈折率のガラスを形成することが困難となる傾向がある。比($Bi^{3+} / (Bi^{3+} + Nb^{5+} + Ti^{4+} + W^{6+})$)の好ましい上限は0.55、より好ましい上限は0.5、さらに好ましい上限は0.45、一層好ましい上限は0.42、より一層好ましい上限は0.40、さらに一層好ましい上限は0.38であり、好ましい下限は0.25、より好ましい下限は0.28、さらに好ましい下限は0.30、一層好ましい下限は0.32、より一層好ましい下限は0.34、特に好ましい下限は0.36である。

【0033】

また、ガラスの密度に対する屈折率を高め、かつ同一屈折率におけるガラスのアップ数を減少させて高分散特性を高めようとする観点、およびガラスの液相温度における粘度の低下を抑制する上から、 Bi^{3+} 、 Nb^{5+} 、 Ti^{4+} および W^{6+} の合計含有量に対する Ti^{4+} の含有量のカチオン比($Ti^{4+} / (Bi^{3+} + Nb^{5+} + Ti^{4+} + W^{6+})$)を0.03~0.33とすることが好ましい。上記比が0.03未満になると、ガラスの密度あたりの屈折率が低下し、また高分散特性が低下するうえガラスの液相温度上昇ないし粘性低下を招く傾向がある。また上記比が0.33を超えても、ガラスの溶解性が極めて悪化するとともにガラスの安定性が低下し、液相温度における粘度の低下も招く傾向がある。比($Ti^{4+} / (Bi^{3+} + Nb^{5+} + Ti^{4+} + W^{6+})$)の好ましい下限は0.05、より好ましい下限は0.08、さらに好ましい下限は0.10、一層好ましい下限は0.12、より一層好ましい下限は0.14、特に好ましい下限は0.16であり、好ましい上限は0.33、より好ましい上限は0.30、さらに好ましい上限は0.25、一層好ましい上限は0.22、より一層好ましい上限は0.20である。なお、前記カチオン比を高めることはガラスの強度改善の観点からも好ましい。さらに、ガラスの還元傾向を抑え、着色を悪化させずにガラスの硬度を高める観点からは、 Bi^{3+} 、 Nb^{5+} 、 Ti^{4+} および

10

20

30

40

50

W^{6+} の合計含有量に対する Ti^{4+} と Nb^{5+} の合計含有量のカチオン比 $(Ti^{4+} + Nb^{5+}) / (Bi^{3+} + Nb^{5+} + Ti^{4+} + W^{6+})$ を0.375~0.70とすることが好ましい。比 $(Ti^{4+} + Nb^{5+}) / (Bi^{3+} + Nb^{5+} + Ti^{4+} + W^{6+})$ の好ましい下限は0.40、より好ましい下限は0.42、さらに好ましい下限は0.44、一層好ましい下限は0.45、より一層好ましい下限は0.46であり、好ましい上限は0.65、より好ましい上限は0.60、さらに好ましい上限は0.55、一層好ましい上限は0.53、より一層好ましい上限は0.50である。

【0034】

次に、他の任意成分について説明する。なお、本発明における各任意成分は、それら含有量をゼロとしてもよいし、0%超としてもよい。

【0035】

アルカリ金属成分は任意成分であるが、イオン半径が小さいほど構造の引き締め効果が大きく硬度を増加させるため、硬度を高める上からは K^+ より Na^+ 、 Na^+ より Li^+ を導入することが好ましい。特に K^+ は硬度を低下させやすい。

【0036】

Li^+ は、溶融性を改善し、溶融温度を低下させ、分光透過率特性における吸収端を短波長化するとともに、ガラス溶融中における上記高屈折率化成分の還元を抑制し、着色を抑制する働きをする。さらに、アルカリ金属成分の中では硬度を高める働きをするので、本発明の目的を損なわない範囲で導入することができる。しかし、 Li^+ の含有量が7%を超えると屈折率が低下し、熱的安定性、液相温度における粘度も低下する傾向を示すため、 Li^+ の含有量を0~7%とすることが好ましい。 Li^+ の含有量のより好ましい範囲は0~5%、さらに好ましい範囲は0~4%、一層好ましい範囲は0~3%、より一層好ましい範囲は0~2%、さらに一層好ましい範囲は0~1%であり、含有させなくてもよい。 Li^+ は、他のアルカリ金属成分 Na^+ 、 K^+ と比べてイオン半径が小さいため、ガラス構造の引き締め効果により、アルカリ金属成分の中では比較的、屈折率を低下させる働きは弱い。

Na^+ は、ガラスの熱的安定性を大きく損なうことなしに、溶融性を改善し、溶融温度を低下させ、分光透過率特性における吸収端を短波長化するとともに、ガラス溶融中における上記高屈折率化成分の還元を抑制し、着色を抑制する働きをする。また、液相温度における粘度をやや低下させるものの、液相温度を低下させる働きもする。しかし、 Na^+ の含有量が20%を超えると屈折率が低下し、熱的安定性、液相温度における粘度も低下する傾向を示すため、 Na^+ の含有量を0~20%とすることが好ましい。 Na^+ の含有量の上限については、18%、16%、14%、12%、10%、8%、7%、6%、5%の順に好ましく、最も好ましい上限は4%である。 Na^+ は、イオン半径が Li^+ と K^+ の間にあるため、ヌーブ硬度を低下させる働き、および屈折率を低下させる働きは Li^+ よりも大きく、 K^+ よりは小さい。 Na^+ の含有量の好ましい下限は0.1%、より好ましい下限は0.5%、さらに好ましい下限は1%、一層好ましい下限は2%、より一層好ましい下限は3%である。

【0037】

K^+ も溶融性を改善し、溶融温度を低下させる働きをする。また、分光透過率特性における吸収端を短波長化するとともに、ガラス溶融中における上記高屈折率化成分の還元を抑制し、着色を抑制する働きもする。さらに、 Li^+ 、 Na^+ と共存することにより熱的安定性を改善し、液相温度を低下させる働きもする。しかし、 K^+ の含有量が10%を超えると屈折率が低下し、熱的安定性、液相温度における粘度が低下する傾向を示す。また K^+ はガラスの硬度を低下する働きをするため、 K^+ の含有量を0~10%とすることが好ましい。 K^+ の含有量のより好ましい上限は7%、さらに好ましい上限は5%、一層好ましい上限は4%、より一層好ましい上限は3%、さらに一層好ましい上限は2%、特に好ましい上限は1%であり、含有させなくてもよい。

【0038】

なお、液相温度における粘度の低下を抑制し、かつ高屈折率化成分の還元によるガラスの着色を抑制する上から、 Li^+ 、 Na^+ および K^+ の合計含有量を0~20%の範囲にすることが好ましい。 Li^+ 、 Na^+ および K^+ の合計含有量の好ましい上限は15%、より好ましい上限は12%、さらに好ましい上限は10%、一層好ましい上限は7%、より一層好ましい

10

20

30

40

50

上限は5%、さらに一層好ましい上限は4%、特に好ましい上限は3%である。分光透過率特性における吸収端の短波長化と、高屈折率化成分の還元による着色の抑制を優先する場合、上記範囲内でアルカリ金属成分を導入することが好ましく、その場合、 Li^+ 、 Na^+ および K^+ の合計含有量の好ましい下限は1%、より好ましい下限は2%である。なお、 Li^+ 、 Na^+ および K^+ のいずれも含有させない場合は、吸収端の短波長化と粘性の向上のために、後述する B^{3+} および/またはアルカリ土類金属成分を含有させることが好ましい。なお、アルカリ金属成分を含む場合でも、 B^{3+} および/またはアルカリ土類金属成分を含有させてよい。 B^{3+} の含有量については後述する。

【0039】

アルカリ金属成分やアルカリ土類金属成分は、共有結合性の...O-P-O-Nb-O...のような架橋結合を切断し、代わりに...O-P-O-Na...のようにして共有結合を終端させるため、ガラス融液の粘性を低下させる働きをする。ガラスの構造を終端させる度合いは、おおむね修飾成分のモル数と原子価の積で表すことができ、この値が小さいほど、同一温度における融液状態のガラスの粘性が上昇する。したがってアルカリ金属成分とアルカリ土類金属成分の合計含有量($\text{R}_2\text{O} + \text{R}'\text{O}$:ここで、 R_2O は酸化物基準によるアルカリ金属成分の合計量、 $\text{R}'\text{O}$ はアルカリ土類金属成分の合計量であり、 $\text{R} = \text{Li}$ 、 Na 、 K であり、 $\text{R}' = \text{Mg}$ 、 Ca 、 Sr 、 Ba)は20モル%以下が望ましく、15モル%以下がより望ましく、13モル%以下がさらに望ましく、11モル%以下が一層望ましく、10モル%以下がより一層望ましく、8モル%以下がさらに一層好ましく、6モル%以下がなお一層好ましく、4モル%以下がさらになお一層好ましく、3モル%以下が特に望ましい。また、酸化物基準によるアルカリ金属成分とアルカリ土類金属成分の合計量を0モル%にすることもできる。ただしアルカリ金属成分あるいはアルカリ土類金属成分の合計量が少なくなりすぎると、 Ti 、 Nb 、 Bi 、 W といった還元されやすいイオンの還元による着色を抑制することが難しくなるので、酸化物基準にてアルカリ金属成分あるいはアルカリ土類金属成分の合計量は0.5モル%以上が好ましく、1モル%以上であることがより好ましく、2モル%以上であることがさらに好ましい。

【0040】

アルカリ金属成分を導入する場合(Li^+ 、 Na^+ および K^+ の合計含有量を0%超とする場合)、光学特性を維持しつつ、ガラスの熱的安定性を改善し、液相温度における粘度を上昇させ、ガラスの成形性を改善する上から、 Li^+ の含有量を7%以下、 Na^+ の含有量を20%以下、 K^+ の含有量を10%以下としつつ、 Li^+ 、 Na^+ および K^+ の合計含有量に対する Na^+ の含有量のカチオン比($(\text{Li}^+ + \text{Na}^+) / (\text{Li}^+ + \text{Na}^+ + \text{K}^+)$)を0.2~1とすることが好ましい。カチオン比($(\text{Li}^+ + \text{Na}^+) / (\text{Li}^+ + \text{Na}^+ + \text{K}^+)$)のより好ましい範囲は0.5~1、さらに好ましい範囲は0.7~1、一層好ましい範囲は0.8~1、より一層好ましい範囲は0.85~1、さらに一層好ましい範囲は0.9~1、なお一層好ましい範囲は0.95~1であり、1とすることもできる。

【0041】

B^{3+} は、適量の導入によりアルカリ金属成分等よりも硬度を上昇させる効果がある。またガラスの熱的安定性を改善し、液相温度を低下させ、液相温度における粘度を増加させる働きをする。

【0042】

しかし、過剰導入によってイオンの充填効率が低下し、構造を引き締める効果が弱くなって硬度が低下したり、熱的安定性が低下、液相温度が上昇、ガラスの着色が増加する傾向を示すため、 B^{3+} の含有量を0~20%とすることが好ましい。 B^{3+} の含有量の好ましい下限は1%、より好ましい下限は2%、さらに好ましい下限は3%、一層好ましい下限は4%、より一層好ましい下限は5%である。 B^{3+} の含有量の好ましい上限は18%、より好ましい上限は16%、さらに好ましい上限は14%、より一層好ましい上限は13%、さらに一層好ましい上限は12%、なお一層好ましい上限は10%、さらになお一層好ましい上限は9%、特に好ましい上限は8%、最も好ましい上限は7%である。 Si^{4+} は屈折率を低下させるもののガラスの液相粘性を良く上昇させる働きをする一方で、過剰な導入はガラスの液相

10

20

30

40

50

温度の上昇あるいはガラスの分相を招くため、 Si^{4+} の含有量の上限は5%とすることが好ましく、3%とすることがより好ましく、2%とすることがさらに好ましく、1.5%とすることが一層好ましく、1.2%とすることがより一層好ましい。 Si^{4+} の含有量の下限は0%であり、好ましい下限は0%超、より好ましい下限は0.1%、さらに好ましい下限は0.2%、いっそう好ましい下限は0.3%、より一層好ましい下限は0.4%、より一層好ましい下限は0.5%である。 Si^{4+} の導入方法は通常の酸化原料によるものが主であるが、 SiO_2 を主成分とする材質で作られた坩堝から混入させることもできる。

【0043】

アルカリ土類金属成分も任意成分であるが、イオン半径が小さいほど硬度を増加させる。硬度の観点からは大きな差がないが、 Mg^{2+} 、 Ca^{2+} 、 Sr^{2+} と比較し Ba^{2+} は硬度を低下させやすい成分である。一方、 Ba^{2+} はガラスの結晶化を抑制してガラスの安定化に貢献するので、その分 Ti^{4+} 等を多く含有することも可能になる。したがって Ba^{2+} は、 Ti^{4+} や Nb^{5+} を多く含有する場合に限り、間接的には硬度の維持や上昇に貢献する成分である。

10

【0044】

Ba^{2+} はガラスの熱的安定性を改善し、液相温度における粘度を上昇させるとともに、溶解性を改善し、分光透過率特性における吸収端を短波長化し、高屈折率化成分の還元によるガラスの着色を抑制する働きをする。しかし、 Ba^{2+} の含有量が15%を超えると屈折率が低下するとともにアッペ数が大幅に増大し、所要の光学特性を実現することが難しくなる傾向が生じるため、 Ba^{2+} の含有量を0~15%の範囲にすることが好ましい。 Ba^{2+} の含有量の好ましい上限は12%、より好ましくは9%、さらに好ましくは6%、一層好ましくは0~4%、より一層好ましくは0~3%である。 Ba^{2+} の含有量の好ましい下限は0%であり、より好ましい下限は0.2%、さらに好ましい下限は0.5%、一層好ましい下限は1.0%、より一層好ましい下限は2.0%である。所要の光学特性を実現する上からは Ba^{2+} を含有させなくてもよい。

20

【0045】

ヌーブ硬度を本発明の範囲に制御するという観点からは、硬度を低下させる働きをする K^+ および Ba^{2+} の合計含有量を16%以下とすることが好ましく、より好ましくは14%以下、さらに好ましくは12%以下、一層好ましくは10%以下、より一層好ましくは8%以下、さらに一層好ましくは6%以下、最も好ましくは4%以下とする。屈折率、アッペ数などの光学特性や液相温度における粘度を維持した上でヌーブ硬度を本発明の範囲に制御するという観点からは、 K^+ 、 Ba^{2+} および B^{3+} の合計含有量を22%以下とすることが好ましく、より好ましくは18%以下、さらに好ましくは15%以下、一層好ましくは12%以下、より一層好ましくは10%以下、さらに一層好ましくは8%以下、最も好ましくは6%以下とする。

30

【0046】

2.02以上の屈折率 n_d を維持しつつ、液相温度における粘度の低下を抑制する上から、 P^{5+} 、 Bi^{3+} 、 Nb^{5+} 、 Ti^{4+} 、 W^{6+} 、 Li^+ 、 Na^+ 、 K^+ 、 B^{3+} 、 Si^{4+} および Ba^{2+} の合計含有量を90~100%とすることが好ましく、95~100%とすることがより好ましく、98~100%とすることがさらに好ましく、99~100%とすることが一層好ましい。前記合計含有量を100%としてもよい。

40

【0047】

さらに、同様の観点から、 P^{5+} 、 Bi^{3+} 、 Nb^{5+} 、 Ti^{4+} 、 W^{6+} 、 Li^+ 、 Na^+ 、 K^+ 、 B^{3+} および Si^{4+} の合計含有量を90~100%とすることが好ましく、95~100%とすることがより好ましく、98~100%とすることがさらに好ましく、99~100%とすることが一層好ましい。前記合計含有量を100%としてもよい。

上記カチオン成分以外に導入可能な成分としては、 Sr^{2+} 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 Zn^{2+} 、 Al^{3+} 等がある。このうち、 Sr^{2+} 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 Zn^{2+} はいずれもガラスの溶解性を高める働きがあるものの、屈折率を低下させる働きがあるため、 Sr^{2+} 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 Zn^{2+} の含有量はそれぞれ0~5%の範囲とすることが好ましく、0~3%の範囲とすることがより好ましく、0~2%の範囲とすることがさらに好ましく、0~1%の範囲とするこ

50

とが一層好ましい。なお、 Sr^{2+} 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 Zn^{2+} を含有させなくてもよい。

【0048】

Al^{3+} は屈折率を低下させ、かつガラスの液相温度を上昇させる働きをするため、 Al^{3+} の含有量は0~5%の範囲とすることが好ましく、0~3%の範囲とすることがより好ましく、0~2%の範囲とすることがさらに好ましく、0~1%の範囲とすることが一層好ましい。なお、 Al^{3+} を含有させなくてもよい。

その他、添加剤として Sb_2O_3 や SnO_2 などのような清澄剤を添加しても良い。また、ガラスの清澄性や、ガラスとるつぼ材料との親和性を制御するために、 NO_3^- 、 CO_3^{2-} 、 SO_4^{2-} 、 F^- 、 Cl^- 、 Br^- 、 I^- などのような分極性の高い陰イオンとその対イオンである陽イオンから構成される各種の塩などを添加してもよい。

10

【0049】

上記清澄剤の中で好ましいものは Sb_2O_3 である。 Sb_2O_3 を用いる場合は、質量比による Sb_2O_3 の外割り添加量を0~10000ppmの範囲とすることが好ましい。なお、質量比による外割り添加量とは、ガラス成分の質量を基準とした割合で示す添加量である。 Sb_2O_3 は清澄効果があることに加え、ガラス溶融中、前述の高屈折率化成分を酸化状態にするとともに、この酸化状態を安定化する働きをする。しかし、外割り添加量が10000ppmを超えると Sb 自体の光吸収により、ガラスが着色する傾向を示す。ガラスの透過率特性を改善するという観点から、 Sb_2O_3 の外割り添加量の好ましい上限は5000ppm、より好ましい上限は2000ppm、さらに好ましい上限は1100ppm、一層好ましい上限は900ppm、より一層好ましい上限は600ppmであり、好ましい下限は100ppm、より好ましい下限は200ppm、さら

20

【0050】

なお、本発明の光学ガラスにおいて、 Pb 、 As 、 Cd 、 Te 、 Tl 、 Se のカチオンはいずれも環境への負荷を配慮し、含有、添加しないことが望ましい。また、 V 、 Cr 、 Mn 、 Fe 、 Co 、 Ni 、 Cu 、 Pr 、 Nd 、 Eu 、 Tb 、 Ho 、 Er のカチオンはいずれもガラスを着色したり、紫外光の照射により蛍光を発生するため、含有、添加しないことが望ましい。ただし、上記の含有、添加しないとは、ガラス原料やガラス溶融工程に由来する不純物としての混入までも排除するものではない。

【0051】

さらに Ga^{3+} 、 Lu^{3+} 、 In^{3+} 、 Ge^{4+} 、 Hf^{4+} は、少量であれば含有しても構わないが、これら成分により有意義な効果が得られることはなく、いずれも高価な成分であることから、それぞれの含有量を0~2%の範囲とすることが好ましく、0~1%の範囲とすることがより好ましく、0%以上0.5%未満とすることがさらに好ましく、0%以上0.1%未満とすることが一層好ましく、ガラスの製造コストを抑える上から含有させないことが望ましい。

30

【0052】

その他、本発明の光学ガラスの説明において明記していないカチオンについては各々、含有しなくてもよい、すなわち、0%としてもよい。ただし、上記の含有、添加しないとは、ガラス原料やガラス溶融工程に由来する不純物としての混入までも排除する

40

【0053】

[屈折率、アッペ数]

本発明の光学ガラスの屈折率 n_d は2.02以上、アッペ数 d は19.0以下である。このように本発明の光学ガラスは、超高屈折率高分散特性を備えているため、高ズーム比、広角、コンパクトな光学系を構成するための光学素子の材料として好適である。なお、光学系の高機能化、コンパクト化により有効な光学素子に用いられる光学ガラスを提供するという観点から、屈折率 n_d が2.05超であることが好ましく、2.06以上であることがより好ましく、2.07以上であることがさらに好ましく、2.08以上であることが一層好ましく、2.09以上であることがより一層好ましい。アッペ数 d の好ましい上限は18.5、より好ましい

50

上限は18.1、さらに好ましい上限は17.7、一層好ましい上限は17.4、より一層好ましい上限は17.2、さらに好ましい上限は17.1である。

【0054】

屈折率 n_d の上限、アッペ数 d の下限は上記組成範囲によって自ずと定まるため、特に制限はないが、屈折率 n_d の上限は3.0、アッペ数 d の下限は5をそれぞれ目安とすることができる。また、ガラスの成形性を重視する場合は、屈折率 n_d の増加、アッペ数 d の減少によって、液相温度における粘度は減少傾向を示すので、屈折率 n_d の上限、アッペ数 d の下限については、前述のガラス組成範囲内で、液相温度における粘度が1dPa・s以上となる範囲で定まる。

【0055】

[ヌーブ硬度]

上記のようにビスマス-リン酸系の高屈折率高分散光学ガラスの機械加工や取り扱い時の加傷を防止する観点から、本発明の光学ガラスのヌーブ硬度は370以上である。ヌーブ硬度が370未満であるガラスでは、前述のように研削、研磨、切削などの機械加工時やガラス物品の取り扱い時の加傷が問題となる。ヌーブ硬度を上記範囲にすることにより上記加傷を防止することができる。本発明におけるヌーブ硬度の好ましい範囲は375以上、より好ましい範囲は380以上、さらに好ましい範囲は385以上、一層好ましい範囲は390以上、より一層好ましい範囲は395以上、さらに一層好ましい範囲は400以上、なお一層好ましい範囲は405以上、さらになお一層好ましい範囲は410以上、特に好ましい範囲は415以上、最も好ましい範囲は420以上である。一方、ヌーブ硬度の上限については特に制限はなく、加傷の問題を回避するという観点のみからは高い方が好ましい。しかし、ガラス組成による制限と屈折率及びアッペ数による制限もあることから、ヌーブ硬度は、最大でも、例えば、600程度であり、500以下であることが好ましい。

【0056】

[摩耗度]

また、高屈折率高分散光学ガラスの研磨加工時の加傷を抑制し、研磨加工の制御性を高める観点から、本発明の光学ガラスの摩耗度は300以下である。摩耗度が300を超えるガラスでは、前述のように研削、切削などの機械加工時やガラス物品の取り扱い時の加傷に加え、研磨工程における加傷が顕著になるため、酸化セリウムをはじめとする研磨効率の高い研磨剤を使用すると、レンズの曲率を制御しながら研磨を行うことが困難になり、研磨性を低下させた酸化ジルコニウム研磨剤などにより時間をかけて研磨する必要があるため、研磨効率が低下する。本発明における摩耗度の好ましい範囲は280以下、より好ましい範囲は270以下、さらに好ましい範囲は260以下、一層好ましい範囲は250以下、より一層好ましい範囲は240以下、さらに一層好ましい範囲は230以下、なお一層好ましい範囲は220以下、さらになお一層好ましい範囲は210以下、特に好ましい範囲は200以下である。一方、摩耗度の下限については特に制限はないが、摩耗度が小さすぎても同一体積のガラスを研磨除去するための時間が増大して生産性が低下するため、摩耗度は、最小でも、例えば10以上であり、好ましくは30以上であり、より好ましくは50以上であることが好ましい。

【0057】

本発明のビスマス-リン酸系の高屈折率高分散光学ガラスにおいて、前記の組成範囲でヌーブ硬度を所望の値に制御するには、実施例に記載のガラスの組成とヌーブ硬度を基準として、図1及び2に示す、各組成のヌーブ硬度に与える影響を考慮して、所望のヌーブ硬度を有するガラス組成を決定することができる。例えば、実施例1のガラスを基準(スタート)として所望のヌーブ硬度を決めれば、それに基づいて、実施例1のガラス組成と図1及び2に示す、各組成のヌーブ硬度に与える影響を考慮して、ガラス組成を決定できる。具体的には、実施例1のガラスのヌーブ硬度406をさらに高めたい場合には、例えば、図1に示された成分を変動させる場合、Pを基準としてヌーブ硬度を高める方向に作用する(図1の縦軸のヌーブ硬度変化率が大きい)Tiを、例えば、この値が小さいWと置き換えることで、ヌーブ硬度が高いガラスを得ることができる。例えば、実施例1におけるTi⁴⁺ 12

10

20

30

40

50

モル%、 W^{6+} 12モル%を、 Ti^{4+} を4モル%増やして16モル%とし、 W^{6+} を4モル%減らして8モル%とすると、ヌーブ硬度は11上昇して417のガラスが得られる(実施例2参照)。また、図2に示された成分を変動させる場合、Mgを基準としてヌーブ硬度を高める方向に作用する(図2の縦軸のヌーブ硬度変化率が大きい)Caを、例えば、Mgと置き換えることで、ヌーブ硬度が高いガラスを得ることができる。例えば、実施例17のガラス(ヌーブ硬度405)における Ba^{2+} 4.255モル%を、 Ca^{2+} 4.255モル%で置換すると、ヌーブ硬度は9上昇して414のガラスが得られる(実施例15参照)。

【0058】

[液相温度、液相温度における粘度]

本発明の光学ガラスにおいて、良好な成形性を得る上から液相温度における粘度が $1dPa \cdot s$ 以上であるものが好ましい。液相温度は、ガラスの高屈折率高分散化に伴い上昇傾向を示し、 940 以上の高温になりやすい。液相温度の上昇は、ガラス製造時の失透を防止するために熔融温度、成形温度の上昇をもたらす。その結果、成形時のガラスの粘性が著しく低下し、脈理が生じ、光学的均質性が著しく悪化してしまう。上記好ましい光学ガラスによれば、高屈折率高分散化に伴い液相温度が上昇しても、温度あたりの粘性値を高めることにより、ガラス成形時の脈理発生を抑制し、優れた光学的均質性を有する高品質な光学ガラスを提供することができる。

【0059】

本発明において、液相温度における粘度の好ましい範囲は $1.0 dPa \cdot s$ 以上、より好ましい範囲は $1.4 dPa \cdot s$ 以上、さらに好ましい範囲は $1.7 dPa \cdot s$ 以上、一層好ましい範囲は $2.0 dPa \cdot s$ 以上、より一層好ましい範囲は $2.2 dPa \cdot s$ 以上、さらに一層好ましい範囲は $2.5 dPa \cdot s$ 以上、なお一層好ましい範囲は $2.7 dPa \cdot s$ 以上、特に好ましい範囲は $3.0dPa \cdot s$ 以上、最も好ましい範囲は $3.2dPa \cdot s$ 以上である。液相温度における粘度の上限は特に限定されないが、 $20 dPa \cdot s$ を目安として考えることができる。ただし、液相温度における粘度を過剰に高めても、屈折率の低下などの問題が生じるおそれがあるため、液相温度における粘度の上限を $10dPa \cdot s$ とすることが好ましく、 $7dPa \cdot s$ とすることがより好ましい。

【0060】

なお、本発明における液相温度の好ましい範囲は 1100 以下の範囲である。より好ましくは 1050 以下、さらに 1030 以下、 1020 以下、 1000 以下、 990 以下、 980 以下、 970 以下、 960 以下の順に好ましい。液相温度を前記範囲にすることで、熔融温度、成形温度の過度な上昇を抑制し、ガラス製造時、坩堝材料がガラスに溶け込んでガラスが着色したり、坩堝材が異物として混入してガラスの品質を低下することを防止することができる。また、熔融ガラスからの揮発を抑制し、揮発による組成変化、光学特性の変動を抑制することもできる。なお、液相温度の下限は、高融点の高屈折率成分を多く含有する観点から 800 以上、より好ましくは 900 以上を目安として考えることができ、上記のように 940 を目安として考えることもできる。

【0061】

本発明における比重は -30 /hrの徐冷速度で得られたガラスの比重により定義されるが、冷却速度に対する比重の変化量は、冷却速度を $1/10$ にしたときの比重の増加分が $0.005 \sim 0.06\%$ 、より好ましくは $0.01 \sim 0.04\%$ であるので、ガラスの冷却速度によっては以下の数値範囲を -30 /時の冷却速度に調整して考えることもできる。比重の好ましい上限は 6.0 、より好ましい上限は 5.7 、さらに好ましい上限は 5.5 、一層好ましい上限は 5.4 、より一層好ましい上限は 5.3 である。好ましい下限には特に制限はないが、比重を過剰に低くすると、屈折率の低下などの問題が生じるおそれがあるため、比重の好ましい下限は 3.0 、より好ましい下限は 4.0 、さらに好ましい下限は 4.5 、一層好ましい下限は 4.8 、より一層好ましい下限は 5.0 である。

【0062】

[光線透過性]

本発明の光学ガラスは超高屈折率高分散ガラスでありながら、デジタル式撮像装置の撮像光学系に用いられる光学素子の材料として好適な透過率特性をも備えている。

【0063】

従来、感光フィルム式カメラのレンズ材料の開発では、良好な色再現性を得るため、高透過率が得られる波長域をいかにして短波長域まで拡大するかという点に注力がなされてきた。一般に、光学ガラスの分光透過率特性において、どこまで短波長の光を透過するかを示す指標として、外部透過率70%を示す波長である λ_{70} 、外部透過率5%を示す波長である λ_5 といった特定波長による指標が用いられている。

【0064】

一般に波長400nm以下の紫外領域において、光学ガラスの分光透過率は透過波長が短いほど低下するので、 λ_{70} と λ_5 の間には $\lambda_{70} > \lambda_5$ という関係がある。これまで、ほとんどの光学ガラスにおける特定波長は400nm以下、すなわち紫外線領域にあり、透過率の低下を示す λ_{70} や λ_5 は紫外領域の波長であることから可視光の透過率低下は問題にならなかった。しかしガラスを高分散化するほど λ_{70} と λ_5 は長波長化し、また高分散ガラスの中でも屈折率を高めるほど λ_{70} と λ_5 の長波長化が著しかった。高分散レンズ材料の開発、すなわち高分散光学ガラスの開発では、 $\lambda_{70} > \lambda_5$ の関係から λ_{70} が波長400nm以上の可視領域にあることが多く、その結果ガラスが黄色～褐色に着色する。このため、まず λ_{70} の短波長化、すなわち着色の軽減が重要視されてきた。デジタルカメラ用の高分散レンズ材料もこの流れを汲み、 λ_{70} の短波長化が優先されている。

【0065】

ところで、超高屈折率高分散ガラスの場合、中屈折率や中低分散のガラスと比較し、光線透過域の短波長吸収端は長波長化し、 λ_{70} に加えて λ_5 も可視領域に存在する。そのため、可視光線の透過率を高めるためには λ_{70} の短波長化とともに λ_5 の短波長化が極めて重要となる。これまで着色の軽減を目的として作られた超高屈折率高分散ガラスでは、主に λ_{70} を短波長化していたため、 λ_5 の短波長化については十分でなかった。このように、 λ_5 の短波長化が十分でない撮像素子を使う場合、撮像素子に入射する限界波長が長波長化し、画像情報から紫色の情報や青色の情報が欠落し、色再現性が低下することになる。

【0066】

なお、デジタルカメラでは画像信号をデジタル処理することにより、カラーバランスを電子的に補正することができる。したがって、一部の波長の情報が多少欠落しても、たとえば青色、緑色、赤色といった三原色の光の強度比を維持しながら、光を撮像素子に導くことによって、ある程度の色の再現は可能となる。しかし、三原色のうち、一部の光の透過率が著しく低下してこれらの強度比を保てなくなると、電子補正による色再現も困難になる。

【0067】

本発明の光学ガラスのうち好ましいガラスは、 λ_5 の短波長化に注目して作られているため、良好な色再現性を維持しつつ、超高屈折率高分散特性を活かして撮像光学系の高機能化、コンパクト化を可能にする。

【0068】

[密度・比重]

近年、撮像レンズ、特に携帯撮像機器搭載のレンズ、車載カメラ用レンズやピックアップレンズのように、レンズが小型化する傾向にあるが、こうしたレンズでは、CCDなどの撮像素子や、読み取り媒体に対する焦点位置のずれを小さくする必要がある。このため、それぞれのモジュールは各種の防振機構を備え、様々な振動の周波数がモジュールの共振周波数から得られる一次共振点 F_0 (Hz)を超えないよう設計されている。

ところが一次共振点 F_0 は、モジュールの質量 m の平方根 \sqrt{m} に反比例するため、モジュールの重量が大きくなると F_0 が減少してしまい、追加の防振機構が必要となり好ましくない。

また、カメラレンズはアクチュエータ等により精密な駆動を行うが、その駆動部の質量が増すことは機構部の駆動や位置決めにかかる機構部への負荷を増加させて消費電力を増加させるので、好ましくない。

10

20

30

40

50

【0069】

以上の背景から、光学素子の超高屈折率化に際して、素材となる光学ガラスの密度の増大を抑えることが求められている。なお実質的には密度は重力加速度を一定とみなしたときのガラスの比重に比例するため、ガラスの密度の増大を抑えるためには、同一重力加速度下におけるガラスの比重の増大を抑えればよい。

したがって、高屈折率高分散化成分としてどのような元素を用いるか、各成分の成分比の決定は、ガラスの製造安定性、透過率特性、密度あるいは比重を考慮しながら行うことが望まれる。

【0070】

ガラスの屈折率を高めるには、ガラスの分子屈折を高める必要がある。ガラスの分子屈折を決定するのは、イオンの中でも分極率の高い陰イオン、すなわち酸素イオンやフッ素イオンである。（本発明の光学ガラスは、酸化物ガラスであることから、陰イオンは主として酸素イオンである。）分子屈折は陰イオンの充填度に比例して増加するため、これらの充填度を高めることが有効である。なお陰イオンの充填度は、陰イオンの結合の相手となる陽イオンのイオン半径や原子価、配位数、外殻電子の配列等によって決まる。したがって、陽イオンのイオン半径、原子価、配位数、外殻電子の配列等が屈折率に影響する。

【0071】

例えば、 T_a や N_b は、光学ガラスの代表的な高屈折率成分である L_a よりも原子価が高いため、 L_a を T_a や N_b に置換することにより屈折率を高めることができる。 W は、 T_a よりも高原子価であり、高屈折率化に有効な成分である。 B_i の原子価は L_a と同じであるが、自らの分極性が高いことにより高屈折率化に寄与し、単位陽イオン%あたりの屈折率を高める効果は N_b や W よりも大きい。

【0072】

T_i は、 T_a や N_b と比べると酸素イオンの充填が不十分な元素ではあるが、特定波長に強い吸収（紫外吸収）を持つため、特定波長の屈折率（例えばf線やg線の屈折率といった、青色～紫外領域の屈折率）を高めることができる。また、 T_i 原子自身の質量も小さいことから、ガラスの密度を高めずに屈折率を高める効果が大きい。

【0073】

N_b は、 T_i ほどではないが、 N_b 自身の質量が W や B_i よりも小さいため、ガラスの密度を高めずに屈折率を高められる成分である。またガラスへの導入によって特定波長に紫外吸収が現れるため、特定波長の屈折率を高め高分散化できる成分である。なお N_b は T_i と比較して、質量が大きいため密度増大を抑制する点においてはやや不利ではあるが、良好な透過率特性を得る上からは有利な成分である。

さらに、 B_i 、 N_b 、 T_i 、 W はガラス成分として共存することにより液相温度を低下させ、ガラスの安定性を増大させることから製造安定性の改善に寄与する。

こうした点を総合的に考慮し、所要の光学特性、ヌーブ硬度が得られる範囲で組成を調整することにより高屈折率高分散ガラスでありながら密度の増大、すなわち比重の増大を抑制した光学ガラスを得ることができる。

【0074】

[光学ガラスの製法]

本発明の光学ガラスは、溶融法により製造することができる。

例えば、所要の組成を有するガラスとなるように各成分に対応する化合物原料を秤量し、十分混合して調合原料とし、調合原料をルツボに入れて1100～1200 で攪拌しながら0.5～4時間溶解を行った後、ガラス融液を所定の容器に流し出し、冷却、粉碎して、カレットを得る。ガラスの還元成分の還元を制御するため、溶解温度を調合原料の投入温度よりも低い液相温度 $LT \sim 1100$ の間、好ましくは液相温度 $LT+20 \sim 1050$ の間とすることもできる。

【0075】

次にこのカレットを貴金属製坩堝に投入し、液相温度 $LT \sim 1200$ に加熱し、攪拌して、溶融した。次いで液相温度 $LT \sim 1200$ で0.5～6時間かけて溶融ガラスを清澄する。清澄後

10

20

30

40

50

、ガラスの温度を清澄温度から液相温度LT~1100、好ましくは液相温度LT~1080、より好ましくは液相温度LT~1050、さらに好ましくは液相温度LT~1020、いっそう好ましくは液相温度LT~1000に降温した後、ルツボ底部に接続したパイプから熔融ガラスを流出させ、あるいは鋳型に鋳込んで成形し、光学ガラスを得ることができる。

【0076】

上記温度条件、ならびに各工程に要する時間は適宜、調整可能である。

また、光学特性が異なる複数種のカレットを上述の方法で作製し、これらカレットを所要の光学特性が得られるように調合して熔融、清澄、成形し、光学ガラスを作製することもできる。

【0077】

[プレス成形用ガラス素材]

本発明のプレス成形用ガラス素材(以下、ガラス素材という)は、上記本発明の光学ガラスからなる。ガラス素材は、まず、本発明の光学ガラスが得られるように調合したガラス原料を加熱、熔融し、成形する。このようにして作製したガラス成形体を加工し、プレス成形品1個分の量に相当するガラス素材を作製する。このような方法以外でも熔融ガラスからプレス成形用ガラス素材を作る公知の方法を適用することができる。例えば、熔融ガラスを型に鋳込んで板状あるいはブロック状に成形し、アニールした後、機械加工、すなわち切断、研削、研磨を行って表面に傷のないガラス素材を得ることができる。

【0078】

本発明のガラス素材は、ヌーブ硬度が高いガラスからなるため、加工時およびガラス素材としての取り扱い時に加傷しにくいいため、ガラス素材表面の傷がプレス成形後の光学素子表面、特に光学機能面に残存しやすい精密プレス成形用ガラス素材として好ましいものである。

またプレス成形後にプレス成形品に機械加工、すなわち研削、研磨を行い光学素子を作製する場合にも、機械加工によって加傷しにくいプレス成形品の製造を可能とする。

【0079】

[光学素子]

本発明の光学素子は、上記本発明の光学ガラスからなる。

具体例としては、非球面レンズ、球面レンズ、あるいは平凹レンズ、平凸レンズ、両凹レンズ、両凸レンズ、凸メニスカスレンズ、凹メニスカスレンズなどのレンズ、マイクロレンズ、レンズアレイ、回折格子付きレンズなどの各種レンズ、プリズム、レンズ機能付きプリズムなどを例示することができる。表面には必要に応じて反射防止膜や波長選択性のある部分反射膜などを設けてもよい。

【0080】

本発明の光学素子は超高屈折率高分散特性を有するガラスからなるので、他のガラスからなる光学素子と組合せることにより、良好な色収差補正を行うことができる。さらに、ヌーブ硬度の高いガラスを用いているため、傷つきにくいことから取り扱いが容易である。また光学素子を固定する際にも加傷しにくい。レンズの芯取り加工において、レンズ表面を両側から挟んで固定しても加傷しにくいという特長がある。

また、本発明の光学ガラスは撮像光学系を高ズーム比化、広角化、コンパクト化する上でも有効である。

さらに、超高屈折率高分散特性を備えながら、比重増大が抑えられたガラスを用いているため、光学素子の軽量化が可能となり、振動に対する焦点位置のズレ防止にも有効である。

さらに、分光透過率特性における吸収端を短波長化されたガラスの使用により、可視短波長域の画像情報の欠落を防止することができ、デジタル式撮像装置の色再現性改善にも有効である。

【0081】

本発明の光学素子は、デジタルスチルカメラ、デジタルビデオカメラ、監視カメラ、車載カメラなど各種カメラの撮像光学系、DVD、CDなどの光記録媒体へのデータ書き込

10

20

30

40

50

み、読み出し用の光線を導く光学素子、例えば、光ピックアップレンズやコリメータレンズなどにも好適である。また、光通信の光学素子としても好適である。

【0082】

上記光学素子は、本発明の光学ガラスを加工し、表面を研磨する方法、本発明のプレス成形用ガラス素材を加熱、プレス成形して光学素子ブランクを製造し、この光学素子ブランクを研削、研磨する方法、本発明のプレス成形用ガラス素材を加熱、精密プレス成形して光学素子とする方法など、公知の方法により製造することができる。いずれの場合でも、高屈折率高分散光学ガラスからなるガラス物品でありながら、表面に傷がつきにくいガラスを用いることにより加傷による生産性低下という問題を解消することができる。

【実施例】

【0083】

以下、実施例により本発明をさらに詳説する。

【0084】

(実施例1)

表1に示すNo. 1~51の組成を有するガラスとなるように各成分に対応する化合物原料を秤量し、十分混合して調合原料とした。なお、表1に示すガラス組成は、カチオン%表示の値が基準であり、モル%表示、質量%表示の値はいずれもカチオン%表示を換算した値である。

次に調合原料を坩堝に入れて1100 ~ 1200 で攪拌しながら2~5時間溶解を行った後、急冷、粉碎して、カレットを得た。

次にこのカレットを貴金属製坩堝に投入し、1000 ~ 1100 に加熱し、攪拌して、溶融した。次いで、1000 ~ 1100 で2~6時間かけて溶融ガラスを清澄した。清澄後、ガラスの温度を清澄温度から液相温度LT~1050 に降温した後、坩堝底部に接続したパイプから溶融ガラスを流出させ、あるいは鋳型に鋳込んでガラスブロックに成形した。

【0085】

得られた各ガラスブロックに光線を入射させ、ガラス中の前記光線の光路を横から観察したところ、ガラス中に結晶などの異物は認められず、均質性の高い、高品質の光学ガラスを得ることができた。

【0086】

得られた光学ガラスNo. 1~51について、屈折率 n_d 、アッペ数 d 、ヌーブ硬度、摩耗度、液相温度、液相温度における粘度、ガラス転移温度、比重、70、5を、以下のようにして測定した。なお、空欄は未測定であることを示す。

【0087】

(1) 屈折率 n_d およびアッペ数 d

日本光学硝子工業会規格JOGIS-01に基づいて測定した。測定結果を表1に示す。

(2) ヌーブ硬度

日本光学硝子工業会規格JOGIS-09に準じて実施した。厚さ2mm~20mmの両面研磨されたガラスサンプルに対しKnoop圧子を押し込み、その圧痕の大ききから光学硝子のヌーブ硬度を測定した。測定結果を表1に示す。

(3) 摩耗度 F_A

測定面積が 9 cm^2 の試料を、水平に毎分60回転する鋳鉄製平面皿の中心より80mmの定位置に保持し、平均粒径 $20\text{ }\mu\text{ m}$ のアルミナ砥粒10gに水20mlを添加したラップ液を5分間一様に供給し、9.807Nの荷重をかけてラップし、ラップ前後の試料質量を秤量して摩耗質量 m を求める。同様にして、日本光学硝子工業会規格で定められた標準試料(BSC7)の摩耗質量 m_0 を測定し、次式により算出する。

$$F_A = [(m/d) / (m_0/d_0)] \times 100$$

ここで、 d は試料の比重、 d_0 は標準試料(BSC7)の比重である。

(4) 液相温度LTおよび液相温度における粘度

ガラス試料を所定温度に加熱された炉内に入れて2時間保持し、冷却後、ガラス内部を

10

20

30

40

50

100倍の光学顕微鏡で観察し、結晶の有無から液相温度を決定した。粘度JIS規格Z8803、共軸二重円筒形回転粘度計による粘度測定方法により粘度を測定した。

(5) ガラス転移温度 T_g

ガラス転移温度は示差走査型熱量計DSC3300SAを用いて固体状態のガラスを昇温したときの吸熱カーブから測定した。この測定を用いた T_g は日本光学硝子工業会規格JOGIS-08に基づいて測定したガラス転移温度 T_g と対応関係を示す。測定結果を表1に示す。

(6) 比重

日本光学硝子工業会規格JOGIS-05に基づいて測定した。測定結果を表1に示す。

10

(7) 70、5

70、5は次のようにして測定した。厚さ10mmの互いに平行かつ光学研磨された平面を有するガラス試料を用い、波長280nmから700nmまでの波長域における分光透過率を測定する。分光透過率は、光学研磨された一方の平面に垂直に強度Aの光線を入射し、他方の平面から出射する光線の強度Bを測定し、 B/A によって算出される。したがって、分光透過率には試料表面における光線の反射損失も含まれる。分光透過率が70%になる波長が70であり、分光透過率が5%になる波長が5である。測定結果を表1に示す。

【0088】

さらに分子量及びモル体積は以下の要領で算出した。

20

8) 分子量

陽イオンMと陰イオン(ここでは酸素)の構成比がそれぞれX:Yである酸化物 M_xO_y について、Mの分子量 $\times 1$ と、陰イオン(ここでは酸素)の分子量 $\times (y/x)$ の合計を、陽イオンベースの酸化物単位 $MO_{y/x}$ の単位分子量(g/モル)とする。各元素について、{酸化物単位 $MO_{y/x}$ の単位分子量(g/モル) \times それぞれの陽イオンの含有量(カチオン%)} / 100を足し合わせたものが分子量(g/モル)になる。

【0089】

(9) モル体積

モル体積は、上記分子量(g/モル)を比重に密度の単位 [g/cm^3] をつけた量で割ったものがモル体積(cm^3 /モル)である。すなわち、分子量(g/モル)を室温における密度(g/cm^3)で割ったものがモル体積(cm^3 /モル)である。

30

【0090】

【表 1】

No.	1			2			
	カチオン%	モル%	質量%	カチオン%	モル%	質量%	
カチオン成分 (酸化物表示)	P^{5+} (P_2O_5)	29.87	26.000	16.070	29.67	26.000	16.510
	Bi^{3+} (Bi_2O_3)	22.99	20.000	40.590	22.99	20.000	41.700
	Nb^{5+} (Nb_2O_5)	22.99	20.000	23.160	22.99	20.000	23.800
	Ti^{4+} (TiO_2)	6.90	12.000	4.180	9.20	16.000	5.720
	W^{6+} (WO_3)	6.90	12.000	12.120	4.60	8.000	8.300
	Li^+ (Li_2O)	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000
	Na^+ (Na_2O)	3.45	3.000	0.810	3.45	3.000	0.830
	K^+ (K_2O)	2.30	2.000	0.820	2.30	2.000	0.840
	B^{3+} (B_2O_3)	3.45	3.000	0.910	3.45	3.000	0.930
	Ba^{2+} (BaO)	1.15	2.000	1.340	1.15	2.000	1.370
	Sr^{2+} (SrO)	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000
	Ca^{2+} (CaO)	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000
	Mg^{2+} (CaO)	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000
	Si^{4+} (SiO_2)	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000
	Zr^{4+} (ZrO_2)	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000
	合計	100.00	100.000	100.000	100.00	100.000	100.000
	Sb_2O_3 (注2)	-	-	0.1	-	-	0.1
	$Bi^{3+}+Nb^{5+}+Ti^{4+}+W^{6+}$ ($Bi_2O_3+Nb_2O_5+TiO_2+WO_3$)	59.78	64	80.05	59.78	64	79.52
	$Bi^{3+}/(Bi^{3+}+Nb^{5+}+Ti^{4+}+W^{6+})$ $Bi_2O_3/(Bi_2O_3+Nb_2O_5+TiO_2+WO_3)$	0.385	0.313	0.507	0.385	0.313	0.524
	$Ti^{4+}/(Bi^{3+}+Nb^{5+}+Ti^{4+}+W^{6+})$ $TiO_2/(Bi_2O_3+Nb_2O_5+TiO_2+WO_3)$	0.115	0.188	0.052	0.154	0.250	0.072
	$(Nb^{5+}+Ti^{4+})/(Bi^{3+}+Nb^{5+}+Ti^{4+}+W^{6+})$ $(Nb_2O_5+TiO_2)/(Bi_2O_3+Nb_2O_5+TiO_2+WO_3)$	0.500	0.500	0.342	0.538	0.563	0.371
	$Li^++Na^++K^+$ ($Li_2O+Na_2O+K_2O$)	5.75	5	1.63	5.75	5	1.67
	$Na^+/(Li^++Na^++K^+)$ $Na_2O/(Li_2O+Na_2O+K_2O)$	0.60	0.600	0.497	0.60	0.600	0.497
R_2O+RO	6.90	7.000	2.970	6.90	7.000	3.040	
$R_2O+RO+B$	10.35	10.00	3.88	10.35	10.00	3.97	
$P^{5+}+Bi^{3+}+Nb^{5+}+Ti^{4+}+W^{6+}+Li^++Na^++K^++B^{3+}+Si^{4+}+Ba^{2+}$ ($P_2O_5+Bi_2O_3+Nb_2O_5+TiO_2+WO_3+Li_2O+Na_2O+K_2O+B_2O_3+SiO_2+BaO$)	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	
$P^{5+}+Bi^{3+}+Nb^{5+}+Ti^{4+}+W^{6+}+Li^++Na^++K^++Si^{4+}+B^{3+}$ ($P_2O_5+Bi_2O_3+Nb_2O_5+TiO_2+WO_3+Li_2O+Na_2O+K_2O+SiO_2+B_2O_3$)	98.85	98.00	98.66	98.85	98.00	98.63	
K^++Ba^{2+} (K_2O+BaO)	3.45	4.00	2.16	3.45	4.00	2.21	
$K^++Ba^{2+}+B^{3+}$ ($K_2O+BaO+B_2O_3$)	6.90	7.00	3.07	6.90	7.00	3.14	
アニオン成分	O^{2-}	100アニオン%		100アニオン%			
屈折率nd	2.05452		2.05895				
アッベ数vd	17.81		17.69				
液相温度 [°C]	1000		1000				
ガラス転移温度 [°C]	553		558.5				
比重	5.19		5.12				
液相温度における粘度 [dPa·s]	1.6		1.6				
$\lambda 5$ [nm]	414		416				
$\lambda 70$ [nm]	530		533				
ヌーブ硬度	406		417				
摩耗度							
分子量(g/mol)	131.94		128.45				
モル体積	25.41		25.11				

10

20

30

40

No.	3			4			
	カチオン%	モル%	質量%	カチオン%	モル%	質量%	
カチオン成分 (酸化物表示)	P ⁵⁺ (P ₂ O ₅)	28.92	25.000	15.530	25.00	21.740	13.440
	Bi ³⁺ (Bi ₂ O ₃)	24.10	20.830	42.470	25.00	21.740	44.110
	Nb ⁵⁺ (Nb ₂ O ₅)	24.10	20.830	24.230	25.00	21.740	25.160
	Ti ⁴⁺ (TiO ₂)	9.64	16.670	5.830	10.00	17.390	6.050
	W ⁶⁺ (WO ₃)	4.82	8.340	8.450	5.00	8.700	8.780
	Li ⁺ (Li ₂ O)	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000
	Na ⁺ (Na ₂ O)	1.20	1.040	0.280	6.25	5.430	1.470
	K ⁺ (K ₂ O)	2.41	2.080	0.860	0.00	0.000	0.000
	B ³⁺ (B ₂ O ₃)	3.61	3.130	0.950	3.75	3.260	0.990
	Ba ²⁺ (BaO)	1.20	2.080	1.400	0.00	0.000	0.000
	Sr ²⁺ (SrO)	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000
	Ca ²⁺ (CaO)	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000
	Mg ²⁺ (CaO)	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000
	Si ⁴⁺ (SiO ₂)	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000
	Zr ⁴⁺ (ZrO ₂)	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000
	合計	100.00	100.000	100.000	100.00	100.000	100.000
	Sb ₂ O ₃ (注2)	-	-	0.1	-	-	0.1
	Bi ³⁺ +Nb ⁵⁺ +Ti ⁴⁺ +W ⁶⁺ (Bi ₂ O ₃ +Nb ₂ O ₅ +TiO ₂ +WO ₃)	62.66	66.67	80.98	65	69.57	84.1
	Bi ³⁺ /(Bi ³⁺ +Nb ⁵⁺ +Ti ⁴⁺ +W ⁶⁺) Bi ₂ O ₃ /(Bi ₂ O ₃ +Nb ₂ O ₅ +TiO ₂ +WO ₃)	0.385	0.312	0.524	0.385	0.312	0.524
	Ti ⁴⁺ /(Bi ³⁺ +Nb ⁵⁺ +Ti ⁴⁺ +W ⁶⁺) TiO ₂ /(Bi ₂ O ₃ +Nb ₂ O ₅ +TiO ₂ +WO ₃)	0.154	0.250	0.072	0.154	0.250	0.072
(Nb ⁵⁺ +Ti ⁴⁺)/(Bi ³⁺ +Nb ⁵⁺ +Ti ⁴⁺ +W ⁶⁺) (Nb ₂ O ₅ +TiO ₂)/(Bi ₂ O ₃ +Nb ₂ O ₅ +TiO ₂ +WO ₃)	0.538	0.562	0.371	0.538	0.562	0.371	
Li ⁺ +Na ⁺ +K ⁺ (Li ₂ O+Na ₂ O+K ₂ O)	3.61	3.12	1.14	6.25	5.43	1.47	
Na ⁺ /(Li ⁺ +Na ⁺ +K ⁺) Na ₂ O/(Li ₂ O+Na ₂ O+K ₂ O)	0.33	0.333	0.246	1.00	1.000	1.000	
R ₂ O+RO	4.81	5.200	2.540	6.25	5.430	1.470	
R ₂ O+RO+B	8.42	8.33	3.49	10.00	8.69	2.46	
P ⁵⁺ +Bi ³⁺ +Nb ⁵⁺ +Ti ⁴⁺ +W ⁶⁺ +Li ⁺ +Na ⁺ +K ⁺ +B ³⁺ +Si ⁴⁺ +Ba ²⁺ (P ₂ O ₅ +Bi ₂ O ₃ +Nb ₂ O ₅ +TiO ₂ +WO ₃ +Li ₂ O+Na ₂ O+K ₂ O+B ₂ O ₃ +SiO ₂ +BaO)	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	
P ⁵⁺ +Bi ³⁺ +Nb ⁵⁺ +Ti ⁴⁺ +W ⁶⁺ +Li ⁺ +Na ⁺ +K ⁺ +Si ⁴⁺ +B ³⁺ (P ₂ O ₅ +Bi ₂ O ₃ +Nb ₂ O ₅ +TiO ₂ +WO ₃ +Li ₂ O+Na ₂ O+K ₂ O+SiO ₂ +B ₂ O ₃)	98.80	97.92	98.60	100.00	100.00	100.00	
K ⁺ +Ba ²⁺ (K ₂ O+BaO)	3.61	4.16	2.26	0.00	0.00	0.00	
K ⁺ +Ba ²⁺ +B ³⁺ (K ₂ O+BaO+B ₂ O ₃)	7.22	7.29	3.21	3.75	3.26	0.99	
アニオン成分	O ²⁻	100アニオン%		100アニオン%			
屈折率nd	2.08022		2.11798				
アッペ数vd	17.36		16.7				
液相温度 [°C]	1010		1040				
ガラス転移温度 [°C]	566.2		551.1				
比重	5.20		5.34				
液相温度における粘度 [dPa·s]	1.4		1.2				
λ 5 [nm]	419		426				
λ 70 [nm]	564		586				
ヌーブ硬度	414		405				
摩耗度							
分子量(g/mol)	132.18		132.04				
モル体積	25.40		24.74				

10

20

30

40

No.	5			6			
	カチオン%	モル%	質量%	カチオン%	モル%	質量%	
カチオン成分 (酸化物表示)	P ⁵⁺ (P ₂ O ₅)	25.00	21.740	13.420	25.00	22.520	13.240
	Bi ³⁺ (Bi ₂ O ₃)	25.00	21.740	44.050	25.00	22.520	43.460
	Nb ⁵⁺ (Nb ₂ O ₅)	25.00	21.740	25.130	29.00	26.130	28.760
	Ti ⁴⁺ (TiO ₂)	10.00	17.390	6.040	6.00	10.810	3.580
	W ⁶⁺ (WO ₃)	5.00	8.700	8.770	5.00	9.010	8.650
	Li ⁺ (Li ₂ O)	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000
	Na ⁺ (Na ₂ O)	1.25	1.090	0.290	10.00	9.010	2.310
	K ⁺ (K ₂ O)	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000
	B ³⁺ (B ₂ O ₃)	8.75	7.600	2.300	0.00	0.000	0.000
	Ba ²⁺ (BaO)	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000
	Sr ²⁺ (SrO)	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000
	Ca ²⁺ (CaO)	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000
	Mg ²⁺ (CaO)	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000
	Si ⁴⁺ (SiO ₂)	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000
	Zr ⁴⁺ (ZrO ₂)	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000
	合計	100.00	100.000	100.000	100.00	100.000	100.000
	Sb ₂ O ₃ (注2)	-	-	0.1	-	-	0.1
	Bi ³⁺ +Nb ⁵⁺ +Ti ⁴⁺ +W ⁶⁺ (Bi ₂ O ₃ +Nb ₂ O ₅ +TiO ₂ +WO ₃)	65	69.57	83.99	65	68.47	84.45
	Bi ³⁺³ /(Bi ³⁺ +Nb ⁵⁺ +Ti ⁴⁺ +W ⁶⁺) Bi ₂ O ₃ /(Bi ₂ O ₃ +Nb ₂ O ₅ +TiO ₂ +WO ₃)	0.385	0.312	0.524	0.385	0.329	0.515
	Ti ⁴⁺ /(Bi ³⁺ +Nb ⁵⁺ +Ti ⁴⁺ +W ⁶⁺) TiO ₂ /(Bi ₂ O ₃ +Nb ₂ O ₅ +TiO ₂ +WO ₃)	0.154	0.250	0.072	0.092	0.158	0.042
	(Nb ⁵⁺ +Ti ⁴⁺)/(Bi ³⁺ +Nb ⁵⁺ +Ti ⁴⁺ +W ⁶⁺) (Nb ₂ O ₅ +TiO ₂)/(Bi ₂ O ₃ +Nb ₂ O ₅ +TiO ₂ +WO ₃)	0.538	0.562	0.371	0.538	0.540	0.383
	Li ⁺ +Na ⁺ +K ⁺ (Li ₂ O+Na ₂ O+K ₂ O)	1.25	1.09	0.29	10	9.01	2.31
	Na ⁺ /(Li ⁺ +Na ⁺ +K ⁺) Na ₂ O/(Li ₂ O+Na ₂ O+K ₂ O)	1.00	1.000	1.000	1.00	1.000	1.000
	R ₂ O+RO	1.25	1.090	0.290	10.00	9.010	2.310
	R ₂ O+RO+B	10.00	8.69	2.59	10.00	9.01	2.31
	P ²⁺ +Bi ³⁺ +Nb ⁵⁺ +Ti ⁴⁺ +W ⁶⁺ +Li ⁺ +Na ⁺ +K ⁺ +B ³⁺ +Si ⁴⁺ +Ba ²⁺ (P ₂ O ₅ +Bi ₂ O ₃ +Nb ₂ O ₅ +TiO ₂ +WO ₃ +Li ₂ O+Na ₂ O+K ₂ O+B ₂ O ₃ +SiO ₂ +BaO)	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
	P ²⁺ +Bi ³⁺ +Nb ⁵⁺ +Ti ⁴⁺ +W ⁶⁺ +Li ⁺ +Na ⁺ +K ⁺ +Si ⁴⁺ +B ³⁺ (P ₂ O ₅ +Bi ₂ O ₃ +Nb ₂ O ₅ +TiO ₂ +WO ₃ +Li ₂ O+Na ₂ O+K ₂ O+SiO ₂ +B ₂ O ₃)	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
K ⁺ +Ba ²⁺ (K ₂ O+BaO)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
K ⁺ +Ba ²⁺ +B ³⁺ (K ₂ O+BaO+B ₂ O ₃)	8.75	7.60	2.30	0.00	0.00	0.00	
アニオン成分	O ²⁻	100アニオン%		100アニオン%			
屈折率nd		2.11404			2.1161		
アッペ数vd		16.88			16.76		
液相温度 [°C]		1040			1040		
ガラス転移温度 [°C]		550.6			556.1		
比重		5.30			5.39		
液相温度における粘度 [dPa·s]		1.2			1.2		
λ 5 [nm]		422			428		
λ 70 [nm]		559			612		
ヌープ硬度		425			419		
摩耗度							
分子量(g/mol)		132.23			134.01		
モル体積		24.95			24.88		

10

20

30

40

No.	7			8			
	カチオン%	モル%	質量%	カチオン%	モル%	質量%	
カチオン成分 (酸化物表示)	P ⁵⁺ (P ₂ O ₅)	25.00	23.590	13.230	25.00	21.740	13.320
	Bi ³⁺ (Bi ₂ O ₃)	30.00	28.300	52.140	25.00	21.740	43.730
	Nb ⁵⁺ (Nb ₂ O ₅)	29.00	27.360	28.750	25.00	21.740	24.950
	Ti ⁴⁺ (TiO ₂)	6.00	11.320	3.570	10.00	17.360	6.000
	W ⁶⁺ (WO ₃)	0.00	0.000	0.000	5.00	8.700	8.700
	Li ⁺ (Li ₂ O)	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000
	Na ⁺ (Na ₂ O)	10.00	9.430	2.310	2.00	1.740	0.470
	K ⁺ (K ₂ O)	0.00	0.000	0.000	8.00	6.960	2.830
	B ³⁺ (B ₂ O ₃)	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000
	Ba ²⁺ (BaO)	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000
	Sr ²⁺ (SrO)	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000
	Ca ²⁺ (CaO)	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000
	Mg ²⁺ (CaO)	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000
	Si ⁴⁺ (SiO ₂)	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000
	Zr ⁴⁺ (ZrO ₂)	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000
	合計	100.00	100.000	100.000	100.00	100.000	100.000
	Sb ₂ O ₃ (注2)	-	-	0.1	-	-	0.1
	Bi ³⁺ +Nb ⁵⁺ +Ti ⁴⁺ +W ⁶⁺ (Bi ₂ O ₃ +Nb ₂ O ₅ +TiO ₂ +WO ₃)	65	66.98	84.46	65	69.56	83.38
	Bi ³⁺ /(Bi ³⁺ +Nb ⁵⁺ +Ti ⁴⁺ +W ⁶⁺) Bi ₂ O ₃ /(Bi ₂ O ₃ +Nb ₂ O ₅ +TiO ₂ +WO ₃)	0.462	0.423	0.617	0.385	0.313	0.524
	Ti ⁴⁺ /(Bi ³⁺ +Nb ⁵⁺ +Ti ⁴⁺ +W ⁶⁺) TiO ₂ /(Bi ₂ O ₃ +Nb ₂ O ₅ +TiO ₂ +WO ₃)	0.092	0.169	0.042	0.154	0.250	0.072
(Nb ⁵⁺ +Ti ⁴⁺)/(Bi ³⁺ +Nb ⁵⁺ +Ti ⁴⁺ +W ⁶⁺) (Nb ₂ O ₅ +TiO ₂)/(Bi ₂ O ₃ +Nb ₂ O ₅ +TiO ₂ +WO ₃)	0.538	0.577	0.383	0.538	0.562	0.371	
Li ⁺ +Na ⁺ +K ⁺ (Li ₂ O+Na ₂ O+K ₂ O)	10	9.43	2.31	10	8.7	3.3	
Na ⁺ /(Li ⁺ +Na ⁺ +K ⁺) Na ₂ O/(Li ₂ O+Na ₂ O+K ₂ O)	1.000	1.000	1.000	0.200	0.200	0.142	
R ₂ O+RO	10.00	9.430	2.310	10.00	8.700	3.300	
R ₂ O+RO+B	10.00	9.43	2.31	10.00	8.70	3.30	
P ²⁺ +Bi ³⁺ +Nb ⁵⁺ +Ti ⁴⁺ +W ⁶⁺ +Li ⁺ +Na ⁺ +K ⁺ +B ³⁺ +Si ⁴⁺ +Ba ²⁺ (P ₂ O ₅ +Bi ₂ O ₃ +Nb ₂ O ₅ +TiO ₂ +WO ₃ +Li ₂ O+Na ₂ O+K ₂ O+B ₂ O ₃ +SiO ₂ +BaO)	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	
P ²⁺ +Bi ³⁺ +Nb ⁵⁺ +Ti ⁴⁺ +W ⁶⁺ +Li ⁺ +Na ⁺ +K ⁺ +Si ⁴⁺ +B ³⁺ (P ₂ O ₅ +Bi ₂ O ₃ +Nb ₂ O ₅ +TiO ₂ +WO ₃ +Li ₂ O+Na ₂ O+K ₂ O+SiO ₂ +B ₂ O ₃)	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	
K ⁺ +Ba ²⁺ (K ₂ O+BaO)	0.00	0.00	0.00	8.00	6.96	2.83	
K ⁺ +Ba ²⁺ +B ³⁺ (K ₂ O+BaO+B ₂ O ₃)	0.00	0.00	0.00	8.00	6.96	2.83	
アニオン成分	O ²⁻	100アニオン%		100アニオン%			
屈折率nd	2.12996		2.10482				
アッベ数vd	16.83		16.6				
液相温度 [°C]	1040		1040				
ガラス転移温度 [°C]	554.7		567.3				
比重	5.51		5.29				
液相温度における粘度 [dPa・s]	1.2		1.4				
λ 5 [nm]	420		426				
λ 70 [nm]	613		546				
ヌーブ硬度	404		415				
摩耗度							
分子量(g/mol)	134.07		133.18				
モル体積	24.33		25.17				

10

20

30

40

No.	9			10			
	カチオン%	モル%	質量%	カチオン%	モル%	質量%	
カチオン成分 (酸化物表示)	P ⁵⁺ (P ₂ O ₅)	25.00	21.740	13.490	25.00	20.330	12.520
	Bi ³⁺ (Bi ₂ O ₃)	25.00	21.740	44.270	25.00	20.330	41.110
	Nb ⁵⁺ (Nb ₂ O ₅)	25.00	21.740	25.250	25.00	20.330	23.450
	Ti ⁴⁺ (TiO ₂)	10.00	17.380	6.070	10.00	16.250	5.640
	W ⁶⁺ (WO ₃)	5.00	8.700	8.810	5.00	8.120	8.180
	Li ⁺ (Li ₂ O)	2.00	1.740	0.230	0.00	0.000	0.000
	Na ⁺ (Na ₂ O)	8.00	6.960	1.880	2.00	1.630	0.440
	K ⁺ (K ₂ O)	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000
	B ³⁺ (B ₂ O ₃)	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000
	Ba ²⁺ (BaO)	0.00	0.000	0.000	8.00	13.010	8.660
	Sr ²⁺ (SrO)	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000
	Ca ²⁺ (CaO)	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000
	Mg ²⁺ (CaO)	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000
	Si ⁴⁺ (SiO ₂)	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000
	Zr ⁴⁺ (ZrO ₂)	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000
	合計	100.00	100.000	100.000	100.00	100.000	100.000
	Sb ₂ O ₃ (注2)	-	-	0.1	-	-	0.1
	Bi ³⁺ +Nb ⁵⁺ +Ti ⁴⁺ +W ⁶⁺ (Bi ₂ O ₃ +Nb ₂ O ₅ +TiO ₂ +WO ₃)	65	69.56	84.4	65	65.03	78.38
	Bi ³⁺ /(Bi ³⁺ +Nb ⁵⁺ +Ti ⁴⁺ +W ⁶⁺) Bi ₂ O ₃ /(Bi ₂ O ₃ +Nb ₂ O ₅ +TiO ₂ +WO ₃)	0.385	0.313	0.525	0.385	0.313	0.524
	Ti ⁴⁺ /(Bi ³⁺ +Nb ⁵⁺ +Ti ⁴⁺ +W ⁶⁺) TiO ₂ /(Bi ₂ O ₃ +Nb ₂ O ₅ +TiO ₂ +WO ₃)	0.154	0.250	0.072	0.154	0.250	0.072
(Nb ⁵⁺ +Ti ⁴⁺)/(Bi ³⁺ +Nb ⁵⁺ +Ti ⁴⁺ +W ⁶⁺) (Nb ₂ O ₅ +TiO ₂)/(Bi ₂ O ₃ +Nb ₂ O ₅ +TiO ₂ +WO ₃)	0.538	0.562	0.371	0.538	0.563	0.371	
Li ⁺ +Na ⁺ +K ⁺ (Li ₂ O+Na ₂ O+K ₂ O)	10	8.7	2.11	2	1.63	0.44	
Na ⁺ /(Li ⁺ +Na ⁺ +K ⁺) Na ₂ O/(Li ₂ O+Na ₂ O+K ₂ O)	0.800	0.800	0.891	1.000	1.000	1.000	
R ₂ O+RO	10.00	8.700	2.110	10.00	14.640	9.100	
R ₂ O+RO+B	10.00	8.70	2.11	10.00	14.64	9.10	
P ⁵⁺ +Bi ³⁺ +Nb ⁵⁺ +Ti ⁴⁺ +W ⁶⁺ +Li ⁺ +Na ⁺ +K ⁺ +B ³⁺ +Si ⁴⁺ +Ba ²⁺ (P ₂ O ₅ +Bi ₂ O ₃ +Nb ₂ O ₅ +TiO ₂ +WO ₃ +Li ₂ O+Na ₂ O+K ₂ O+B ₂ O ₃ +SiO ₂ +BaO)	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	
P ⁵⁺ +Bi ³⁺ +Nb ⁵⁺ +Ti ⁴⁺ +W ⁶⁺ +Li ⁺ +Na ⁺ +K ⁺ +Si ⁴⁺ +B ³⁺ (P ₂ O ₅ +Bi ₂ O ₃ +Nb ₂ O ₅ +TiO ₂ +WO ₃ +Li ₂ O+Na ₂ O+K ₂ O+SiO ₂ +B ₂ O ₃)	100.00	100.00	100.00	92.00	86.99	91.34	
K ⁺ +Ba ²⁺ (K ₂ O+BaO)	0.00	0.00	0.00	8.00	13.01	8.66	
K ⁺ +Ba ²⁺ +B ³⁺ (K ₂ O+BaO+B ₂ O ₃)	0.00	0.00	0.00	8.00	13.01	8.66	
アニオン成分	O ²⁻	100アニオン%		100アニオン%			
屈折率nd	2.12476		2.12026				
アッベ数vd	16.53		17.12				
液相温度 [°C]	1040		1040				
ガラス転移温度 [°C]	552		583				
比重	5.37		5.58				
液相温度における粘度 [dPa·s]	1.2		1.4				
λ 5 [nm]	431		427				
λ 70 [nm]	568		546				
ヌーブ硬度	436		416				
摩擦度	220						
分子量(g/mol)	131.57		141.68				
モル体積	24.48		25.39				

10

20

30

40

No.	11			12			
	カチオン%	モル%	質量%	カチオン%	モル%	質量%	
カチオン成分 (酸化物表示)	P ⁵⁺ (P ₂ O ₅)	25.00	21.740	13.720	27.50	23.900	15.580
	Bi ³⁺ (Bi ₂ O ₃)	25.00	21.740	45.030	22.50	19.570	41.830
	Nb ⁵⁺ (Nb ₂ O ₅)	22.50	19.560	23.120	22.50	19.570	23.870
	Ti ⁴⁺ (TiO ₂)	10.00	17.390	6.180	10.00	17.390	6.380
	W ⁶⁺ (WO ₃)	5.00	8.700	8.960	5.00	8.700	9.250
	Li ⁺ (Li ₂ O)	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000
	Na ⁺ (Na ₂ O)	12.50	10.870	2.990	12.50	10.870	3.090
	K ⁺ (K ₂ O)	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000
	B ³⁺ (B ₂ O ₃)	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000
	Ba ²⁺ (BaO)	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000
	Sr ²⁺ (SrO)	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000
	Ca ²⁺ (CaO)	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000
	Mg ²⁺ (CaO)	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000
	Si ⁴⁺ (SiO ₂)	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000
	Zr ⁴⁺ (ZrO ₂)	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000
	合計	100.00	100.000	100.000	100.00	100.000	100.000
	Sb ₂ O ₃ (注2)	-	-	0.1	-	-	0.1
	Bi ³⁺ +Nb ⁵⁺ +Ti ⁴⁺ +W ⁶⁺ (Bi ₂ O ₃ +Nb ₂ O ₅ +TiO ₂ +WO ₃)	62.5	67.39	83.29	60	65.23	81.33
	Bi ³⁺ /(Bi ³⁺ +Nb ⁵⁺ +Ti ⁴⁺ +W ⁶⁺) Bi ₂ O ₃ /(Bi ₂ O ₃ +Nb ₂ O ₅ +TiO ₂ +WO ₃)	0.400	0.323	0.541	0.375	0.300	0.514
	Ti ⁴⁺ /(Bi ³⁺ +Nb ⁵⁺ +Ti ⁴⁺ +W ⁶⁺) TiO ₂ /(Bi ₂ O ₃ +Nb ₂ O ₅ +TiO ₂ +WO ₃)	0.160	0.258	0.074	0.167	0.267	0.078
(Nb ⁵⁺ +Ti ⁴⁺)/(Bi ³⁺ +Nb ⁵⁺ +Ti ⁴⁺ +W ⁶⁺) (Nb ₂ O ₅ +TiO ₂)/(Bi ₂ O ₃ +Nb ₂ O ₅ +TiO ₂ +WO ₃)	0.520	0.548	0.352	0.542	0.567	0.372	
Li ⁺ +Na ⁺ +K ⁺ (Li ₂ O+Na ₂ O+K ₂ O)	12.5	10.87	2.99	12.5	10.87	3.09	
Na ⁺ /(Li ⁺ +Na ⁺ +K ⁺) Na ₂ O/(Li ₂ O+Na ₂ O+K ₂ O)	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	
R ₂ O+RO	12.50	10.870	2.990	12.50	10.870	3.090	
R ₂ O+RO+B	12.50	10.87	2.99	12.50	10.87	3.09	
P ⁵⁺ +Bi ³⁺ +Nb ⁵⁺ +Ti ⁴⁺ +W ⁶⁺ +Li ⁺ +Na ⁺ +K ⁺ +B ³⁺ +Si ⁴⁺ +Ba ²⁺ (P ₂ O ₅ +Bi ₂ O ₃ +Nb ₂ O ₅ +TiO ₂ +WO ₃ +Li ₂ O+Na ₂ O+K ₂ O+B ₂ O ₃ +SiO ₂ +BaO)	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	
P ⁵⁺ +Bi ³⁺ +Nb ⁵⁺ +Ti ⁴⁺ +W ⁶⁺ +Li ⁺ +Na ⁺ +K ⁺ +Si ⁴⁺ +B ³⁺ (P ₂ O ₅ +Bi ₂ O ₃ +Nb ₂ O ₅ +TiO ₂ +WO ₃ +Li ₂ O+Na ₂ O+K ₂ O+SiO ₂ +B ₂ O ₃)	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	
K ⁺ +Ba ²⁺ (K ₂ O+BaO)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
K ⁺ +Ba ²⁺ +B ³⁺ (K ₂ O+BaO+B ₂ O ₃)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
アニオン成分	O ²⁻	100アニオン%		100アニオン%			
屈折率nd	2.10414		2.07469				
アッペ数vd	16.74		17.16				
液相温度 [°C]	1010		990				
ガラス転移温度 [°C]	547.6		555.4				
比重	5.36		5.15				
液相温度における粘度 [dPa·s]	1.4		1.9				
λ 5 [nm]	425		414				
λ 70 [nm]	543		524				
ヌーブ硬度	408		421				
摩耗度							
分子量(g/mol)	129.35		125.30				
モル体積	24.14		24.31				

10

20

30

40

No.	13			14			
	カチオン%	モル%	質量%	カチオン%	モル%	質量%	
カチオン成分 (酸化物表示)	P ⁵⁺ (P ₂ O ₅)	25.00	21.280	14.730	27.50	23.404	15.548
	Bi ³⁺ (Bi ₂ O ₃)	20.00	17.020	38.680	22.50	19.149	41.760
	Nb ⁵⁺ (Nb ₂ O ₅)	22.50	19.150	24.820	22.50	19.149	23.822
	Ti ⁴⁺ (TiO ₂)	12.50	21.270	8.290	10.00	17.021	6.364
	W ⁶⁺ (WO ₃)	5.00	8.510	9.620	5.00	8.511	9.235
	Li ⁺ (Li ₂ O)	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000
	Na ⁺ (Na ₂ O)	15.00	12.770	3.860	10.00	8.511	2.469
	K ⁺ (K ₂ O)	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000
	B ³⁺ (B ₂ O ₃)	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000
	Ba ²⁺ (BaO)	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000
	Sr ²⁺ (SrO)	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000
	Ca ²⁺ (CaO)	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000
	Mg ²⁺ (CaO)	0.00	0.000	0.000	2.50	4.255	0.803
	Si ⁴⁺ (SiO ₂)	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000
	Zr ⁴⁺ (ZrO ₂)	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000
	合計	100.00	100.000	100.000	100.00	100.000	100.000
	Sb ₂ O ₃ (注2)	-	-	0.1	-	-	0.1
	Bi ³⁺ +Nb ⁵⁺ +Ti ⁴⁺ +W ⁶⁺ (Bi ₂ O ₃ +Nb ₂ O ₅ +TiO ₂ +WO ₃)	60	65.95	81.41	60	63.8297872	81.1803573
	Bi ³⁺ /(Bi ³⁺ +Nb ⁵⁺ +Ti ⁴⁺ +W ⁶⁺) Bi ₂ O ₃ /(Bi ₂ O ₃ +Nb ₂ O ₅ +TiO ₂ +WO ₃)	0.333	0.258	0.475	0.375	0.300	0.514
	Ti ⁴⁺ /(Bi ³⁺ +Nb ⁵⁺ +Ti ⁴⁺ +W ⁶⁺) TiO ₂ /(Bi ₂ O ₃ +Nb ₂ O ₅ +TiO ₂ +WO ₃)	0.208	0.323	0.102	0.167	0.267	0.078
(Nb ⁵⁺ +Ti ⁴⁺)/(Bi ³⁺ +Nb ⁵⁺ +Ti ⁴⁺ +W ⁶⁺) (Nb ₂ O ₅ +TiO ₂)/(Bi ₂ O ₃ +Nb ₂ O ₅ +TiO ₂ +WO ₃)	0.583	0.613	0.407	0.542	0.567	0.372	
Li ⁺ +Na ⁺ +K ⁺ (Li ₂ O+Na ₂ O+K ₂ O)	15	12.77	3.86	10	8.5106383	2.46872859	
Na ⁺ /(Li ⁺ +Na ⁺ +K ⁺) Na ₂ O/(Li ₂ O+Na ₂ O+K ₂ O)	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	
R ₂ O+RO	15.00	12.770	3.860	12.50	12.766	3.271	
R ₂ O+RO+B	15.00	12.77	3.86	12.50	12.77	3.27	
P ⁵⁺ +Bi ³⁺ +Nb ⁵⁺ +Ti ⁴⁺ +W ⁶⁺ +Li ⁺ +Na ⁺ +K ⁺ +B ³⁺ +Si ⁴⁺ +Ba ²⁺ (P ₂ O ₅ +Bi ₂ O ₃ +Nb ₂ O ₅ +TiO ₂ +WO ₃ +Li ₂ O+Na ₂ O+K ₂ O+B ₂ O ₃ +SiO ₂ +BaO)	100.00	100.00	100.00	97.50	95.74	99.20	
P ⁵⁺ +Bi ³⁺ +Nb ⁵⁺ +Ti ⁴⁺ +W ⁶⁺ +Li ⁺ +Na ⁺ +K ⁺ +Si ⁴⁺ +B ³⁺ (P ₂ O ₅ +Bi ₂ O ₃ +Nb ₂ O ₅ +TiO ₂ +WO ₃ +Li ₂ O+Na ₂ O+K ₂ O+SiO ₂ +B ₂ O ₃)	100.00	100.00	100.00	97.50	95.74	99.20	
K ⁺ +Ba ²⁺ (K ₂ O+BaO)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
K ⁺ +Ba ²⁺ +B ³⁺ (K ₂ O+BaO+B ₂ O ₃)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
アニオン成分	O ²⁻	100アニオン%		100アニオン%			
屈折率nd	2.08294		2.07779				
アッベ数vd	16.79		17.23				
液相温度 [°C]	1040		1030				
ガラス転移温度 [°C]	556.2		556				
比重	5.06		5.18				
液相温度における粘度 [dPa·s]	1.2		1.3				
λ 5 [nm]	424		428				
λ 70 [nm]	544		565				
スラブ硬度	413		409				
摩耗度							
分子量(g/mol)	120.47		125.53				
モル体積	23.80		24.26				

10

20

30

40

No.		15			16		
		カチオン%	モル%	質量%	カチオン%	モル%	質量%
カチオン成分 (酸化物表示)	P ⁵⁺ (P ₂ O ₅)	27.50	23.404	15.500	27.50	23.404	15.355
	Bi ³⁺ (Bi ₂ O ₃)	22.50	19.149	41.629	22.50	19.149	41.240
	Nb ⁵⁺ (Nb ₂ O ₅)	22.50	19.149	23.748	22.50	19.149	23.526
	Ti ⁴⁺ (TiO ₂)	10.00	17.021	6.344	10.00	17.021	6.284
	W ⁶⁺ (WO ₃)	5.00	8.511	9.206	5.00	8.511	9.120
	Li ⁺ (Li ₂ O)	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000
	Na ⁺ (Na ₂ O)	10.00	8.511	2.461	10.00	8.511	2.438
	K ⁺ (K ₂ O)	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000
	B ³⁺ (B ₂ O ₃)	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000
	Ba ²⁺ (BaO)	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000
	Si ²⁺ (SiO)	0.00	0.000	0.000	2.50	4.255	2.038
	Ca ²⁺ (CaO)	2.50	4.255	1.113	0.00	0.000	0.000
	Mg ²⁺ (CaO)	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000
	Si ⁴⁺ (SiO ₂)	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000
	Zr ⁴⁺ (ZrO ₂)	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000
	合計	100.00	100.000	100.000	100.00	100.000	100.000
	Sb ₂ O ₃ (注2)	-	-	0.1	-	-	0.1
	Bi ³⁺ +Nb ⁵⁺ +Ti ⁴⁺ +W ⁶⁺ (Bi ₂ O ₃ +Nb ₂ O ₅ +TiO ₂ +WO ₃)	60	63.8297872	80.9261361	60	63.8297872	80.1694273
	Bi ³⁺ /(Bi ³⁺ +Nb ⁵⁺ +Ti ⁴⁺ +W ⁶⁺) Bi ₂ O ₃ /(Bi ₂ O ₃ +Nb ₂ O ₅ +TiO ₂ +WO ₃)	0.375	0.300	0.514	0.375	0.300	0.514
	Ti ⁴⁺ /(Bi ³⁺ +Nb ⁵⁺ +Ti ⁴⁺ +W ⁶⁺) TiO ₂ /(Bi ₂ O ₃ +Nb ₂ O ₅ +TiO ₂ +WO ₃)	0.167	0.267	0.078	0.167	0.267	0.078
(Nb ⁵⁺ +Ti ⁴⁺)/(Bi ³⁺ +Nb ⁵⁺ +Ti ⁴⁺ +W ⁶⁺) (Nb ₂ O ₅ +TiO ₂)/(Bi ₂ O ₃ +Nb ₂ O ₅ +TiO ₂ +WO ₃)	0.542	0.567	0.372	0.542	0.567	0.372	
Li ⁺ +Na ⁺ +K ⁺ (Li ₂ O+Na ₂ O+K ₂ O)	10	8.5106383	2.46099762	10	8.5106383	2.44	
Na ⁺ /(Li ⁺ +Na ⁺ +K ⁺) Na ₂ O/(Li ₂ O+Na ₂ O+K ₂ O)	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	
R ₂ O+RO	12.50	12.766	3.574	12.50	12.766	4.476	
R ₂ O+RO+B	12.50	12.77	3.57	12.50	12.77	4.48	
P ⁵⁺ +Bi ³⁺ +Nb ⁵⁺ +Ti ⁴⁺ +W ⁶⁺ +Li ⁺ +Na ⁺ +K ⁺ +B ³⁺ +Si ⁴⁺ +Ba ²⁺ (P ₂ O ₅ +Bi ₂ O ₃ +Nb ₂ O ₅ +TiO ₂ +WO ₃ +Li ₂ O+Na ₂ O+K ₂ O+B ₂ O ₃ +SiO ₂ +BaO)	97.50	95.74	96.89	97.50	95.74	97.96	
P ⁵⁺ +Bi ³⁺ +Nb ⁵⁺ +Ti ⁴⁺ +W ⁶⁺ +Li ⁺ +Na ⁺ +K ⁺ +Si ⁴⁺ +B ³⁺ (P ₂ O ₅ +Bi ₂ O ₃ +Nb ₂ O ₅ +TiO ₂ +WO ₃ +Li ₂ O+Na ₂ O+K ₂ O+SiO ₂ +B ₂ O ₃)	97.50	95.74	96.89	97.50	95.74	97.96	
K ⁺ +Ba ²⁺ (K ₂ O+BaO)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
K ⁺ +Ba ²⁺ +B ³⁺ (K ₂ O+BaO+B ₂ O ₃)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
アニオン成分	O ²⁻	100アニオン%		100アニオン%			
屈折率nd		2.0766		2.07501			
アッペ数vd		17.3		17.36			
液相温度 [°C]		1030		1020			
ガラス転移温度 [°C]		558		560			
比重		5.17		5.20			
液相温度における粘度 [dPa·s]		1.3		1.4			
λ 5 [nm]		425		423			
λ 70 [nm]		549		553			
ヌープ硬度		414		414			
摩耗度							
分子量(g/mol)		125.92		127.11			
モル体積		24.34		24.44			

10

20

30

40

No.	17			18			
	カチオン%	モル%	質量%	カチオン%	モル%	質量%	
カチオン成分 (酸化物表示)	P ⁵⁺ (P ₂ O ₅)	27.50	23.404	15.206	27.50	23.900	15.550
	Bi ³⁺ (Bi ₂ O ₃)	22.50	19.149	40.841	22.50	19.570	41.770
	Nb ⁵⁺ (Nb ₂ O ₅)	22.50	19.149	23.298	22.50	19.570	23.830
	Ti ⁴⁺ (TiO ₂)	10.00	17.021	6.224	10.00	17.390	6.370
	W ⁶⁺ (WO ₃)	5.00	8.511	9.031	5.00	8.700	9.240
	Li ⁺ (Li ₂ O)	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000
	Na ⁺ (Na ₂ O)	10.00	8.511	2.414	7.50	6.520	1.850
	K ⁺ (K ₂ O)	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000
	B ³⁺ (B ₂ O ₃)	0.00	0.000	0.000	5.00	4.350	1.390
	Ba ²⁺ (BaO)	2.50	4.255	2.986	0.00	0.000	0.000
	Sr ²⁺ (SrO)	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000
	Ca ²⁺ (CaO)	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000
	Mg ²⁺ (CaO)	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000
	Si ⁴⁺ (SiO ₂)	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000
	Zr ⁴⁺ (ZrO ₂)	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000
	合計	100.00	100.000	100.000	100.00	100.000	100.000
	Sb ₂ O ₃ (注2)	-	-	0.1	-	-	0.1
	Bi ³⁺ +Nb ⁵⁺ +Ti ⁴⁺ +W ⁶⁺ (Bi ₂ O ₃ +Nb ₂ O ₅ +TiO ₂ +WO ₃)	60	63.8297872	79.3932704	60	65.23	81.21
	Bi ³⁺ /(Bi ³⁺ +Nb ⁵⁺ +Ti ⁴⁺ +W ⁶⁺) Bi ₂ O ₃ /(Bi ₂ O ₃ +Nb ₂ O ₅ +TiO ₂ +WO ₃)	0.375	0.300	0.514	0.375	0.300	0.514
	Ti ⁴⁺ /(Bi ³⁺ +Nb ⁵⁺ +Ti ⁴⁺ +W ⁶⁺) TiO ₂ /(Bi ₂ O ₃ +Nb ₂ O ₅ +TiO ₂ +WO ₃)	0.167	0.267	0.078	0.167	0.267	0.078
(Nb ⁵⁺ +Ti ⁴⁺)/(Bi ³⁺ +Nb ⁵⁺ +Ti ⁴⁺ +W ⁶⁺) (Nb ₂ O ₅ +TiO ₂)/(Bi ₂ O ₃ +Nb ₂ O ₅ +TiO ₂ +WO ₃)	0.542	0.567	0.372	0.542	0.567	0.372	
Li ⁺ +Na ⁺ +K ⁺ (Li ₂ O+Na ₂ O+K ₂ O)	10	8.5106383	2.41438253	7.5	6.52	1.85	
Na ⁺ /(Li ⁺ +Na ⁺ +K ⁺) Na ₂ O/(Li ₂ O+Na ₂ O+K ₂ O)	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	
R ₂ O+RO	12.50	12.766	5.401	7.50	6.520	1.850	
R ₂ O+RO+B	12.50	12.77	5.40	12.50	10.87	3.24	
P ⁵⁺ +Bi ³⁺ +Nb ⁵⁺ +Ti ⁴⁺ +W ⁶⁺ +Li ⁺ +Na ⁺ +K ⁺ +B ³⁺ +Si ⁴⁺ +Ba ²⁺ (P ₂ O ₅ +Bi ₂ O ₃ +Nb ₂ O ₅ +TiO ₂ +WO ₃ +Li ₂ O+Na ₂ O+K ₂ O+B ₂ O ₃ +SiO ₂ +BaO)	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	
P ⁵⁺ +Bi ³⁺ +Nb ⁵⁺ +Ti ⁴⁺ +W ⁶⁺ +Li ⁺ +Na ⁺ +K ⁺ +Si ⁴⁺ +B ³⁺ (P ₂ O ₅ +Bi ₂ O ₃ +Nb ₂ O ₅ +TiO ₂ +WO ₃ +Li ₂ O+Na ₂ O+K ₂ O+SiO ₂ +B ₂ O ₃)	97.50	95.74	97.01	100.00	100.00	100.00	
K ⁺ +Ba ²⁺ (K ₂ O+BaO)	2.50	4.26	2.99	0.00	0.00	0.00	
K ⁺ +Ba ²⁺ +B ³⁺ (K ₂ O+BaO+B ₂ O ₃)	2.50	4.26	2.99	5.00	4.35	1.39	
アニオン成分	O ²⁻	100アニオン%		100アニオン%			
屈折率nd	2.07173			2.0764			
アッベ数vd	17.55			17.59			
液相温度 [°C]	1000			990			
ガラス転移温度 [°C]	561			548.6			
比重	5.26			5.12			
液相温度における粘度 [dPa·s]	1.6			2			
λ 5 [nm]	422			437			
λ 70 [nm]	537						
ヌーブ硬度	405			422			
摩耗度							
分子量(g/mol)	128.35			125.49			
モル体積	24.41			24.50			

10

20

30

40

No.	19			20			
	カチオン%	モル%	質量%	カチオン%	モル%	質量%	
カチオン成分 (酸化物表示)	P ⁵⁺ (P ₂ O ₅)	27.50	22.920	14.850	27.50	23.670	16.150
	Bi ³⁺ (Bi ₂ O ₃)	22.50	18.750	39.890	20.00	17.200	38.550
	Nb ⁵⁺ (Nb ₂ O ₅)	22.50	18.750	22.760	22.50	19.350	24.740
	Ti ⁴⁺ (TiO ₂)	10.00	16.670	6.080	11.25	19.350	7.440
	W ⁶⁺ (WO ₃)	5.00	8.330	8.820	5.00	8.600	9.590
	Li ⁺ (Li ₂ O)	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000
	Na ⁺ (Na ₂ O)	7.50	6.250	1.770	13.75	11.830	3.530
	K ⁺ (K ₂ O)	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000
	B ³⁺ (B ₂ O ₃)	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000
	Ba ²⁺ (BaO)	5.00	8.330	5.830	0.00	0.000	0.000
	Sr ²⁺ (SrO)	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000
	Ca ²⁺ (CaO)	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000
	Mg ²⁺ (CaO)	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000
	Si ⁴⁺ (SiO ₂)	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000
	Zr ⁴⁺ (ZrO ₂)	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000
	合計	100.00	100.000	100.000	100.00	100.000	100.000
	Sb ₂ O ₃ (注2)	-	-	0.1	-	-	0.1
	Bi ³⁺ +Nb ⁵⁺ +Ti ⁴⁺ +W ⁶⁺ (Bi ₂ O ₃ +Nb ₂ O ₅ +TiO ₂ +WO ₃)	60	62.5	77.55	58.75	64.5	80.32
	Bi ³⁺ /(Bi ³⁺ +Nb ⁵⁺ +Ti ⁴⁺ +W ⁶⁺) Bi ₂ O ₃ /(Bi ₂ O ₃ +Nb ₂ O ₅ +TiO ₂ +WO ₃)	0.375	0.300	0.514	0.340	0.267	0.480
	Ti ⁴⁺ /(Bi ³⁺ +Nb ⁵⁺ +Ti ⁴⁺ +W ⁶⁺) TiO ₂ /(Bi ₂ O ₃ +Nb ₂ O ₅ +TiO ₂ +WO ₃)	0.167	0.267	0.078	0.191	0.300	0.093
(Nb ⁵⁺ +Ti ⁴⁺)/(Bi ³⁺ +Nb ⁵⁺ +Ti ⁴⁺ +W ⁶⁺) (Nb ₂ O ₅ +TiO ₂)/(Bi ₂ O ₃ +Nb ₂ O ₅ +TiO ₂ +WO ₃)	0.542	0.567	0.372	0.574	0.600	0.401	
Li ⁺ +Na ⁺ +K ⁺ (Li ₂ O+Na ₂ O+K ₂ O)	7.5	6.25	1.77	13.75	11.83	3.53	
Na ⁺ /(Li ⁺ +Na ⁺ +K ⁺) Na ₂ O/(Li ₂ O+Na ₂ O+K ₂ O)	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	
R ₂ O+RO	12.50	14.580	7.600	13.75	11.830	3.530	
R ₂ O+RO+B	12.50	14.58	7.60	13.75	11.83	3.53	
P ⁵⁺ +Bi ³⁺ +Nb ⁵⁺ +Ti ⁴⁺ +W ⁶⁺ +Li ⁺ +Na ⁺ +K ⁺ +B ³⁺ +Si ⁴⁺ +Ba ²⁺ (P ₂ O ₅ +Bi ₂ O ₃ +Nb ₂ O ₅ +TiO ₂ +WO ₃ +Li ₂ O+Na ₂ O+K ₂ O+B ₂ O ₃ +SiO ₂ +BaO)	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	
P ⁵⁺ +Bi ³⁺ +Nb ⁵⁺ +Ti ⁴⁺ +W ⁶⁺ +Li ⁺ +Na ⁺ +K ⁺ +Si ⁴⁺ +B ³⁺ (P ₂ O ₅ +Bi ₂ O ₃ +Nb ₂ O ₅ +TiO ₂ +WO ₃ +Li ₂ O+Na ₂ O+K ₂ O+SiO ₂ +B ₂ O ₃)	95.00	91.67	94.17	100.00	100.00	100.00	
K ⁺ +Ba ²⁺ (K ₂ O+BaO)	5.00	8.33	5.83	0.00	0.00	0.00	
K ⁺ +Ba ²⁺ +B ³⁺ (K ₂ O+BaO+B ₂ O ₃)	5.00	8.33	5.83	0.00	0.00	0.00	
アニオン成分	O ²⁻	100アニオン%		100アニオン%			
屈折率nd		2.0764		2.05737			
アッベ数vd		17.59		17.24			
液相温度 [°C]		990		1000			
ガラス転移温度 [°C]		569.1		557.4			
比重		5.30		4.98			
液相温度における粘度 [dPa・s]		1.6		2.6			
λ 5 [nm]		423		414			
λ 70 [nm]		558		492			
ヌーブ硬度		414		404			
摩耗度							
分子量(g/mol)		131.41		120.86			
モル体積		24.81		24.28			

10

20

30

40

No.	21			22			
	カチオン%	モル%	質量%	カチオン%	モル%	質量%	
カチオン成分 (酸化物表示)	P ⁵⁺ (P ₂ O ₅)	27.50	23.670	16.110	27.50	23.670	16.100
	Bi ³⁺ (Bi ₂ O ₃)	20.00	17.200	36.460	20.00	17.200	36.430
	Nb ⁵⁺ (Nb ₂ O ₅)	22.50	19.350	24.680	22.50	19.350	24.670
	Ti ⁴⁺ (TiO ₂)	11.25	19.350	7.420	11.25	19.350	7.410
	W ⁶⁺ (WO ₃)	5.00	8.600	9.570	5.00	8.600	9.560
	Li ⁺ (Li ₂ O)	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000
	Na ⁺ (Na ₂ O)	6.25	5.380	1.600	3.75	3.230	0.960
	K ⁺ (K ₂ O)	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000
	B ³⁺ (B ₂ O ₃)	7.50	6.450	2.160	10.00	8.600	2.870
	Ba ²⁺ (BaO)	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000
	Sr ²⁺ (SrO)	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000
	Ca ²⁺ (CaO)	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000
	Mg ²⁺ (CaO)	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000
	Si ⁴⁺ (SiO ₂)	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000
	Zr ⁴⁺ (ZrO ₂)	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000
	合計	100.00	100.000	100.000	100.00	100.000	100.000
	Sb ₂ O ₃ (注2)	-	-	0.1	-	-	0.1
	Bi ³⁺ +Nb ⁵⁺ +Ti ⁴⁺ +W ⁶⁺ (Bi ₂ O ₃ +Nb ₂ O ₅ +TiO ₂ +WO ₃)	58.75	64.5	80.13	58.75	64.5	80.07
	Bi ³⁺ /(Bi ³⁺ +Nb ⁵⁺ +Ti ⁴⁺ +W ⁶⁺) Bi ₂ O ₃ /(Bi ₂ O ₃ +Nb ₂ O ₅ +TiO ₂ +WO ₃)	0.340	0.267	0.480	0.340	0.267	0.480
	Ti ⁴⁺ /(Bi ³⁺ +Nb ⁵⁺ +Ti ⁴⁺ +W ⁶⁺) TiO ₂ /(Bi ₂ O ₃ +Nb ₂ O ₅ +TiO ₂ +WO ₃)	0.191	0.300	0.093	0.191	0.300	0.093
	(Nb ⁵⁺ +Ti ⁴⁺)/(Bi ³⁺ +Nb ⁵⁺ +Ti ⁴⁺ +W ⁶⁺) (Nb ₂ O ₅ +TiO ₂)/(Bi ₂ O ₃ +Nb ₂ O ₅ +TiO ₂ +WO ₃)	0.574	0.600	0.401	0.574	0.600	0.401
	Li ⁺ +Na ⁺ +K ⁺ (Li ₂ O+Na ₂ O+K ₂ O)	6.25	5.38	1.6	3.75	3.23	0.96
	Na ⁺ /(Li ⁺ +Na ⁺ +K ⁺) Na ₂ O/(Li ₂ O+Na ₂ O+K ₂ O)	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
	R ₂ O+RO	6.25	5.380	1.600	3.75	3.230	0.960
	R ₂ O+RO+B	13.75	11.83	3.76	13.75	11.83	3.83
	P ⁵⁺ +Bi ³⁺ +Nb ⁵⁺ +Ti ⁴⁺ +W ⁶⁺ +Li ⁺ +Na ⁺ +K ⁺ +B ³⁺ +Si ⁴⁺ +Ba ²⁺ (P ₂ O ₅ +Bi ₂ O ₃ +Nb ₂ O ₅ +TiO ₂ +WO ₃ +Li ₂ O+Na ₂ O+K ₂ O+B ₂ O ₃ +SiO ₂ +BaO)	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
	P ⁵⁺ +Bi ³⁺ +Nb ⁵⁺ +Ti ⁴⁺ +W ⁶⁺ +Li ⁺ +Na ⁺ +K ⁺ +Si ⁴⁺ +B ³⁺ (P ₂ O ₅ +Bi ₂ O ₃ +Nb ₂ O ₅ +TiO ₂ +WO ₃ +Li ₂ O+Na ₂ O+K ₂ O+SiO ₂ +B ₂ O ₃)	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
	K ⁺ +Ba ²⁺ (K ₂ O+BaO)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
K ⁺ +Ba ²⁺ +B ³⁺ (K ₂ O+BaO+B ₂ O ₃)	7.50	6.45	2.16	10.00	8.60	2.87	
アニオン成分	O ²⁻	100アニオン%		100アニオン%			
屈折率nd		2.0613		2.0591			
アッベ数vd		17.4		17.57			
液相温度 [°C]		990		1030			
ガラス転移温度 [°C]		550.1		550.4			
比重		4.95		4.93			
液相温度における粘度 [dPa・s]		3.4		2			
λ 5 [nm]		426		414			
λ 70 [nm]		668		544			
ヌーブ硬度		410		392			
摩耗度							
分子量(g/mol)		121.14		121.24			
モル体積		24.45		24.58			

10

20

30

40

No.	23			24			
	カチオン%	モル%	質量%	カチオン%	モル%	質量%	
カチオン成分 (酸化物表示)	P ⁵⁺ (P ₂ O ₅)	27.49	23.520	16.350	27.49	23.140	15.980
	Bi ³⁺ (Bi ₂ O ₃)	20.00	17.110	39.030	20.00	16.820	38.170
	Nb ⁵⁺ (Nb ₂ O ₅)	21.88	18.720	24.350	21.88	18.400	23.820
	Ti ⁴⁺ (TiO ₂)	12.50	21.390	8.360	12.50	21.030	8.180
	W ⁶⁺ (WO ₃)	4.38	7.490	8.500	4.38	7.360	8.310
	Li ⁺ (Li ₂ O)	3.00	2.570	0.380	1.00	0.840	0.120
	Na ⁺ (Na ₂ O)	3.25	2.780	0.840	5.25	4.420	1.330
	K ⁺ (K ₂ O)	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000
	B ³⁺ (B ₂ O ₃)	7.50	6.420	2.190	5.50	4.630	1.570
	Ba ²⁺ (BaO)	0.00	0.000	0.000	2.00	3.360	2.510
	Sr ²⁺ (SrO)	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000
	Ca ²⁺ (CaO)	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000
	Mg ²⁺ (CaO)	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000
	Si ⁴⁺ (SiO ₂)	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000
	Zr ⁴⁺ (ZrO ₂)	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000
	合計	100.00	100.000	100.000	100.00	100.000	100.000
	Sb ₂ O ₃ (注2)	-	-	0.1	-	-	0.1
	Bi ³⁺ +Nb ⁵⁺ +Ti ⁴⁺ +W ⁶⁺ (Bi ₂ O ₃ +Nb ₂ O ₅ +TiO ₂ +WO ₃)	58.76	64.71	80.24	58.76	63.61	78.48
	Bi ³⁺ /(Bi ³⁺ +Nb ⁵⁺ +Ti ⁴⁺ +W ⁶⁺) Bi ₂ O ₃ /(Bi ₂ O ₃ +Nb ₂ O ₅ +TiO ₂ +WO ₃)	0.340	0.264	0.486	0.340	0.264	0.486
	Ti ⁴⁺ /(Bi ³⁺ +Nb ⁵⁺ +Ti ⁴⁺ +W ⁶⁺) TiO ₂ /(Bi ₂ O ₃ +Nb ₂ O ₅ +TiO ₂ +WO ₃)	0.213	0.331	0.104	0.213	0.331	0.104
(Nb ⁵⁺ +Ti ⁴⁺)/(Bi ³⁺ +Nb ⁵⁺ +Ti ⁴⁺ +W ⁶⁺) (Nb ₂ O ₅ +TiO ₂)/(Bi ₂ O ₃ +Nb ₂ O ₅ +TiO ₂ +WO ₃)	0.585	0.620	0.408	0.585	0.620	0.408	
Li ⁺ +Na ⁺ +K ⁺ (Li ₂ O+Na ₂ O+K ₂ O)	6.25	5.35	1.22	6.25	5.26	1.45	
Na ⁺ /(Li ⁺ +Na ⁺ +K ⁺) Na ₂ O/(Li ₂ O+Na ₂ O+K ₂ O)	0.520	0.520	0.689	0.840	0.840	0.917	
R ₂ O+RO	6.25	5.350	1.220	8.25	8.620	3.960	
R ₂ O+RO+B	13.75	11.77	3.41	13.75	13.25	5.53	
P ⁵⁺ +Bi ³⁺ +Nb ⁵⁺ +Ti ⁴⁺ +W ⁶⁺ +Li ⁺ +Na ⁺ +K ⁺ +B ³⁺ +Si ⁴⁺ +Ba ²⁺ (P ₂ O ₅ +Bi ₂ O ₃ +Nb ₂ O ₅ +TiO ₂ +WO ₃ +Li ₂ O+Na ₂ O+K ₂ O+B ₂ O ₃ +SiO ₂ +BaO)	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	
P ⁵⁺ +Bi ³⁺ +Nb ⁵⁺ +Ti ⁴⁺ +W ⁶⁺ +Li ⁺ +Na ⁺ +K ⁺ +Si ⁴⁺ +B ³⁺ (P ₂ O ₅ +Bi ₂ O ₃ +Nb ₂ O ₅ +TiO ₂ +WO ₃ +Li ₂ O+Na ₂ O+K ₂ O+SiO ₂ +B ₂ O ₃)	100.00	100.00	100.00	98.00	96.64	97.49	
K ⁺ +Ba ²⁺ (K ₂ O+BaO)	0.00	0.00	0.00	2.00	3.36	2.51	
K ⁺ +Ba ²⁺ +B ³⁺ (K ₂ O+BaO+B ₂ O ₃)	7.50	6.42	2.19	7.50	7.99	4.08	
アニオン成分	O ²⁻	100アニオン%		100アニオン%			
屈折率nd	2.07019			2.06785			
アッペ数vd	17.34			17.43			
液相温度 [°C]	1010			1020			
ガラス転移温度 [°C]	540.2			550.8			
比重	4.99			5.01			
液相温度における粘度 [dPa・s]	2			1.8			
λ 5 [nm]	416			418			
λ 70 [nm]	531			531			
ヌーブ硬度	414			412			
摩耗度							
分子量(g/mol)	119.39			122.08			
モル体積	23.92			24.35			

10

20

30

40

No.	25			26			
	カチオン%	モル%	質量%	カチオン%	モル%	質量%	
カチオン成分 (酸化物表示)	P ⁵⁺ (P ₂ O ₅)	28.50	24.520	15.630	28.64	24.510	15.270
	Bi ³⁺ (Bi ₂ O ₃)	24.00	20.850	43.220	25.00	21.380	43.740
	Nb ⁵⁺ (Nb ₂ O ₅)	22.50	19.350	23.110	23.44	20.040	23.400
	Ti ⁴⁺ (TiO ₂)	11.25	19.350	6.950	11.72	20.040	7.030
	W ⁶⁺ (WO ₃)	5.00	8.600	8.960	5.21	8.910	9.070
	Li ⁺ (Li ₂ O)	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000
	Na ⁺ (Na ₂ O)	7.75	6.670	1.860	2.86	2.450	0.670
	K ⁺ (K ₂ O)	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000
	B ³⁺ (B ₂ O ₃)	1.00	0.860	0.270	3.13	2.670	0.820
	Ba ²⁺ (BaO)	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000
	Sr ²⁺ (SrO)	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000
	Ca ²⁺ (CaO)	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000
	Mg ²⁺ (CaO)	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000
	Si ⁴⁺ (SiO ₂)	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000
	Zr ⁴⁺ (ZrO ₂)	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000
	合計	100.00	100.000	100.000	100.00	100.000	100.000
	Sb ₂ O ₃ (注2)	-	-	0.1	-	-	0.1
	Bi ³⁺ +Nb ⁵⁺ +Ti ⁴⁺ +W ⁶⁺ (Bi ₂ O ₃ +Nb ₂ O ₅ +TiO ₂ +WO ₃)	62.75	67.95	82.24	65.37	70.37	83.24
	Bi ³⁺³ /(Bi ³⁺ +Nb ⁵⁺ +Ti ⁴⁺ +W ⁶⁺) Bi ₂ O ₃ /(Bi ₂ O ₃ +Nb ₂ O ₅ +TiO ₂ +WO ₃)	0.382	0.304	0.526	0.382	0.304	0.525
	Ti ⁴⁺⁴ /(Bi ³⁺ +Nb ⁵⁺ +Ti ⁴⁺ +W ⁶⁺) TiO ₂ /(Bi ₂ O ₃ +Nb ₂ O ₅ +TiO ₂ +WO ₃)	0.179	0.285	0.085	0.179	0.285	0.084
(Nb ⁵⁺ +Ti ⁴⁺)/(Bi ³⁺ +Nb ⁵⁺ +Ti ⁴⁺ +W ⁶⁺) (Nb ₂ O ₅ +TiO ₂)/(Bi ₂ O ₃ +Nb ₂ O ₅ +TiO ₂ +WO ₃)	0.538	0.570	0.366	0.538	0.570	0.366	
Li ⁺ +Na ⁺ +K ⁺ (Li ₂ O+Na ₂ O+K ₂ O)	7.75	6.67	1.86	2.86	2.45	0.67	
Na ⁺ /(Li ⁺ +Na ⁺ +K ⁺) Na ₂ O/(Li ₂ O+Na ₂ O+K ₂ O)	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	
R ₂ O+RO	7.75	6.670	1.860	2.86	2.450	0.670	
R ₂ O+RO+B	8.75	7.53	2.13	5.99	5.12	1.49	
P ⁵⁺ +Bi ³⁺ +Nb ⁵⁺ +Ti ⁴⁺ +W ⁶⁺ +Li ⁺ +Na ⁺ +K ⁺ +B ³⁺ +Si ⁴⁺ +Ba ²⁺ (P ₂ O ₅ +Bi ₂ O ₃ +Nb ₂ O ₅ +TiO ₂ +WO ₃ +Li ₂ O+Na ₂ O+K ₂ O+B ₂ O ₃ +SiO ₂ +BaO)	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	
P ⁵⁺ +Bi ³⁺ +Nb ⁵⁺ +Ti ⁴⁺ +W ⁶⁺ +Li ⁺ +Na ⁺ +K ⁺ +Si ⁴⁺ +B ³⁺ (P ₂ O ₅ +Bi ₂ O ₃ +Nb ₂ O ₅ +TiO ₂ +WO ₃ +Li ₂ O+Na ₂ O+K ₂ O+SiO ₂ +B ₂ O ₃)	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	
K ⁺ +Ba ²⁺ (K ₂ O+BaO)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
K ⁺ +Ba ²⁺ +B ³⁺ (K ₂ O+BaO+B ₂ O ₃)	1.00	0.86	0.27	3.13	2.67	0.82	
アニオン成分	O ²⁻	100アニオン%		100アニオン%			
屈折率nd	2.09018		2.10496				
アッベ数vd	17.03		16.89				
液相温度 [°C]	990		1000				
ガラス転移温度 [°C]	557.6		559.8				
比重	5.22		5.26				
液相温度における粘度 [dPa·s]	2.6		2.2				
λ 5 [nm]	423		416				
λ 70 [nm]	550		500				
ヌーブ硬度	394		391				
摩耗度							
分子量(g/mol)	129.37		133.14				
モル体積	24.80		25.31				

10

20

30

40

No.	27			28			
	カチオン%	モル%	質量%	カチオン%	モル%	質量%	
カチオン成分 (酸化物表示)	P ⁵⁺ (P ₂ O ₅)	27.13	23.131	14.322	27.60	23.397	14.716
	Bi ³⁺ (Bi ₂ O ₃)	25.52	21.757	44.224	25.00	21.192	43.758
	Nb ⁵⁺ (Nb ₂ O ₅)	23.94	20.411	23.667	23.44	19.869	23.404
	Ti ⁴⁺ (TiO ₂)	11.97	20.411	7.112	11.72	19.869	7.034
	W ⁶⁺ (WO ₃)	5.32	9.072	9.174	5.21	8.833	9.074
	Li ⁺ (Li ₂ O)	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000
	Na ⁺ (Na ₂ O)	2.93	2.498	0.675	0.78	0.661	0.182
	K ⁺ (K ₂ O)	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000
	B ³⁺ (B ₂ O ₃)	3.19	2.720	0.826	5.21	4.416	1.363
	Ba ²⁺ (BaO)	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000
	Si ²⁺ (SiO)	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000
	Ca ²⁺ (CaO)	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000
	Mg ²⁺ (CaO)	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000
	Si ⁴⁺ (SiO ₂)	0.00	0.000	0.000	1.04	1.763	0.469
	Zr ⁴⁺ (ZrO ₂)	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000
	合計	100.00	100.000	100.000	100.00	100.000	100.000
	Sb ₂ O ₃ (注2)	-	-	0.1	-	-	0.1
	Bi ³⁺ +Nb ⁵⁺ +Ti ⁴⁺ +W ⁶⁺ (Bi ₂ O ₃ +Nb ₂ O ₅ +TiO ₂ +WO ₃)	66.75	71.651	84.177	65.37	69.763	83.27
	Bi ³⁺ /(Bi ³⁺ +Nb ⁵⁺ +Ti ⁴⁺ +W ⁶⁺) Bi ₂ O ₃ /(Bi ₂ O ₃ +Nb ₂ O ₅ +TiO ₂ +WO ₃)	0.382	0.304	0.525	0.382	0.304	0.525
	Ti ⁴⁺ /(Bi ³⁺ +Nb ⁵⁺ +Ti ⁴⁺ +W ⁶⁺) TiO ₂ /(Bi ₂ O ₃ +Nb ₂ O ₅ +TiO ₂ +WO ₃)	0.179	0.285	0.084	0.179	0.285	0.084
	(Nb ⁵⁺ +Ti ⁴⁺)/(Bi ³⁺ +Nb ⁵⁺ +Ti ⁴⁺ +W ⁶⁺) (Nb ₂ O ₅ +TiO ₂)/(Bi ₂ O ₃ +Nb ₂ O ₅ +TiO ₂ +WO ₃)	0.538	0.570	0.366	0.538	0.570	0.366
	Li ⁺ +Na ⁺ +K ⁺ (Li ₂ O+Na ₂ O+K ₂ O)	2.93	2.498	0.68	0.78	0.661	0.18
	Na ⁺ /(Li ⁺ +Na ⁺ +K ⁺) Na ₂ O/(Li ₂ O+Na ₂ O+K ₂ O)	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
	R ₂ O+RO	2.93	2.498	0.675	0.78	0.661	0.182
	R ₂ O+RO+B	6.12	5.22	1.50	5.99	5.08	1.55
	P ⁵⁺ +Bi ³⁺ +Nb ⁵⁺ +Ti ⁴⁺ +W ⁶⁺ +Li ⁺ +Na ⁺ +K ⁺ +B ³⁺ +Si ⁴⁺ +Ba ²⁺ (P ₂ O ₅ +Bi ₂ O ₃ +Nb ₂ O ₅ +TiO ₂ +WO ₃ +Li ₂ O+Na ₂ O+K ₂ O+B ₂ O ₃ +SiO ₂ +BaO)	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
	P ⁵⁺ +Bi ³⁺ +Nb ⁵⁺ +Ti ⁴⁺ +W ⁶⁺ +Li ⁺ +Na ⁺ +K ⁺ +Si ⁴⁺ +B ³⁺ (P ₂ O ₅ +Bi ₂ O ₃ +Nb ₂ O ₅ +TiO ₂ +WO ₃ +Li ₂ O+Na ₂ O+K ₂ O+SiO ₂ +B ₂ O ₃)	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
K ⁺ +Ba ²⁺ (K ₂ O+BaO)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
K ⁺ +Ba ²⁺ +B ³⁺ (K ₂ O+BaO+B ₂ O ₃)	3.19	2.72	0.83	5.21	4.42	1.36	
アニオン成分	O ²⁻	100アニオン%		100アニオン%			
屈折率nd	2.12125		2.10027				
アッペ数vd	16.63		17.01				
液相温度 [°C]	1030		1000				
ガラス転移温度 [°C]	558		561				
比重	5.33		5.24				
液相温度における粘度 [dPa·s]	1.6		2.6				
λ 5 [nm]	423		422				
λ 70 [nm]	558		568				
ヌープ硬度	392		413				
摩耗度			200				
分子量(g/mol)	134.44		133.11				
モル体積	25.22		25.39				

10

20

30

40

No.	29			30			
	カチオン%	モル%	質量%	カチオン%	モル%	質量%	
カチオン成分 (酸化物表示)	P ⁵⁺ (P ₂ O ₅)	27.46	23.192	14.690	28.65	24.073	14.862
	B ³⁺ (Bi ₂ O ₃)	24.86	20.997	43.658	27.08	22.754	46.115
	Nb ⁵⁺ (Nb ₂ O ₅)	23.32	19.696	23.362	21.35	17.940	20.740
	Ti ⁴⁺ (TiO ₂)	11.86	19.696	7.021	11.72	19.696	6.843
	W ⁶⁺ (WO ₃)	5.18	8.750	9.052	5.21	8.756	8.829
	Li ⁺ (Li ₂ O)	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000
	Na ⁺ (Na ₂ O)	1.81	1.529	0.423	0.26	0.218	0.059
	K ⁺ (K ₂ O)	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000
	B ³⁺ (B ₂ O ₃)	4.15	3.505	1.089	3.65	3.067	0.929
	Ba ²⁺ (BaO)	0.00	0.000	0.000	1.04	1.748	1.166
	Si ²⁺ (SiO)	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000
	Ca ²⁺ (CaO)	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000
	Mg ²⁺ (CaO)	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000
	Si ⁴⁺ (SiO ₂)	1.04	1.757	0.471	1.04	1.748	0.457
	Zr ⁴⁺ (ZrO ₂)	0.52	0.878	0.236	0.00	0.000	0.000
	合計	100.00	100.000	100.000	100.00	100.000	100.000
	Sb ₂ O ₃ (注2)	-	-	0.08	-	-	0.08
	B ³⁺ +Nb ⁵⁺ +Ti ⁴⁺ +W ⁶⁺ (Bi ₂ O ₃ +Nb ₂ O ₅ +TiO ₂ +WO ₃)	65.02	69.139	83.091	65.36	69.146	82.527
	B ³⁺ /(B ³⁺ +Nb ⁵⁺ +Ti ⁴⁺ +W ⁶⁺) Bi ₂ O ₃ /(Bi ₂ O ₃ +Nb ₂ O ₅ +TiO ₂ +WO ₃)	0.382	0.304	0.525	0.414	0.329	0.559
	Ti ⁴⁺ /(B ³⁺ +Nb ⁵⁺ +Ti ⁴⁺ +W ⁶⁺) TiO ₂ /(Bi ₂ O ₃ +Nb ₂ O ₅ +TiO ₂ +WO ₃)	0.179	0.285	0.084	0.179	0.285	0.083
(Nb ⁵⁺ +Ti ⁴⁺)/(B ³⁺ +Nb ⁵⁺ +Ti ⁴⁺ +W ⁶⁺) (Nb ₂ O ₅ +TiO ₂)/(Bi ₂ O ₃ +Nb ₂ O ₅ +TiO ₂ +WO ₃)	0.538	0.570	0.366	0.506	0.544	0.334	
Li ⁺ +Na ⁺ +K ⁺ (Li ₂ O+Na ₂ O+K ₂ O)	1.81	1.529	0.42	0.26	0.218	0.06	
Na ⁺ /(Li ⁺ +Na ⁺ +K ⁺) Na ₂ O/(Li ₂ O+Na ₂ O+K ₂ O)	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	
R ₂ O+RO	1.81	1.529	0.423	1.30	1.966	1.225	
R ₂ O+RO+B	5.96	5.03	1.51	4.95	5.03	2.15	
P ⁵⁺ +Bi ³⁺ +Nb ⁵⁺ +Ti ⁴⁺ +W ⁶⁺ +Li ⁺ +Na ⁺ +K ⁺ +B ³⁺ +Si ⁴⁺ +Ba ²⁺ (P ₂ O ₅ +Bi ₂ O ₃ +Nb ₂ O ₅ +TiO ₂ +WO ₃ +Li ₂ O+Na ₂ O+K ₂ O+B ₂ O ₃ +SiO ₂ +BaO)	99.48	99.12	99.76	100.00	100.00	100.00	
P ⁵⁺ +Bi ³⁺ +Nb ⁵⁺ +Ti ⁴⁺ +W ⁶⁺ +Li ⁺ +Na ⁺ +K ⁺ +Si ⁴⁺ +B ³⁺ (P ₂ O ₅ +Bi ₂ O ₃ +Nb ₂ O ₅ +TiO ₂ +WO ₃ +Li ₂ O+Na ₂ O+K ₂ O+SiO ₂ +B ₂ O ₃)	99.48	99.12	99.76	98.96	98.25	98.83	
K ⁺ +Ba ²⁺ (K ₂ O+BaO)	0.00	0.00	0.00	1.04	1.75	1.17	
K ⁺ +Ba ²⁺ +B ³⁺ (K ₂ O+BaO+B ₂ O ₃)	4.15	3.51	1.09	4.69	4.82	2.10	
アニオン成分	O ²⁻	100アニオン%		100アニオン%			
屈折率nd	2.10429			2.10124			
アッペ数vd	16.97			17.17			
液相温度 [°C]	1040			970			
ガラス転移温度 [°C]	565			551.4			
比重	5.25			5.36			
液相温度における粘度 [dPa·s]	1.6			3.5			
λ _b [nm]	424			418			
λ ₇₀ [nm]	563						
ヌーブ硬度	397			390			
摩耗度							
分子量(g/mol)	132.99			136.81			
モル体積	25.34			25.52			

10

20

30

40

No.	31			32			
	カチオン%	モル%	質量%	カチオン%	モル%	質量%	
カチオン成分 (酸化物表示)	P ⁵⁺ (P ₂ O ₅)	27.72	22.579	13.989	27.72	22.220	14.094
	Bi ³⁺ (Bi ₂ O ₃)	25.74	20.966	42.643	25.74	20.633	42.965
	Nb ⁵⁺ (Nb ₂ O ₅)	20.30	16.535	19.184	18.32	14.685	17.443
	Ti ⁴⁺ (TiO ₂)	11.14	18.148	6.328	13.12	21.034	7.508
	W ⁶⁺ (WO ₃)	8.91	14.515	14.688	8.91	14.285	14.799
	Li ⁺ (Li ₂ O)	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000
	Na ⁺ (Na ₂ O)	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000
	K ⁺ (K ₂ O)	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000
	B ³⁺ (B ₂ O ₃)	3.47	2.826	0.859	3.47	2.782	0.865
	Ba ²⁺ (BaO)	1.73	2.818	1.886	1.73	2.774	1.900
	Sr ²⁺ (SrO)	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000
	Ca ²⁺ (CaO)	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000
	Mg ²⁺ (CaO)	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000
	Si ⁴⁺ (SiO ₂)	0.99	1.613	0.423	0.99	1.587	0.426
	Zr ⁴⁺ (ZrO ₂)	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000
	合計	100.00	100.000	100.000	100.00	100.000	100.000
	Sb ₂ O ₃ (注2)	-	-	0.08	-	-	0.08
	Bi ³⁺ +Nb ⁵⁺ +Ti ⁴⁺ +W ⁶⁺ (Bi ₂ O ₃ +Nb ₂ O ₅ +TiO ₂ +WO ₃)	66.09	70.164	82.843	66.09	70.637	82.715
	Bi ³⁺ /(Bi ³⁺ +Nb ⁵⁺ +Ti ⁴⁺ +W ⁶⁺) Bi ₂ O ₃ /(Bi ₂ O ₃ +Nb ₂ O ₅ +TiO ₂ +WO ₃)	0.389	0.299	0.515	0.389	0.292	0.519
	Ti ⁴⁺ /(Bi ³⁺ +Nb ⁵⁺ +Ti ⁴⁺ +W ⁶⁺) TiO ₂ /(Bi ₂ O ₃ +Nb ₂ O ₅ +TiO ₂ +WO ₃)	0.169	0.259	0.076	0.199	0.298	0.091
(Nb ⁵⁺ +Ti ⁴⁺)/(Bi ³⁺ +Nb ⁵⁺ +Ti ⁴⁺ +W ⁶⁺) (Nb ₂ O ₅ +TiO ₂)/(Bi ₂ O ₃ +Nb ₂ O ₅ +TiO ₂ +WO ₃)	0.476	0.494	0.308	0.476	0.506	0.302	
Li ⁺ +Na ⁺ +K ⁺ (Li ₂ O+Na ₂ O+K ₂ O)	0	0	0.00	0	0	0.00	
Na ⁺ /(Li ⁺ +Na ⁺ +K ⁺) Na ₂ O/(Li ₂ O+Na ₂ O+K ₂ O)	-	-	-	-	-	-	
R ₂ O+RO	1.73	2.818	1.886	1.73	2.774	1.900	
R ₂ O+RO+B	5.20	5.64	2.75	5.20	5.56	2.77	
P ⁵⁺ +Bi ³⁺ +Nb ⁵⁺ +Ti ⁴⁺ +W ⁶⁺ +Li ⁺ +Na ⁺ +K ⁺ +B ³⁺ +Si ⁴⁺ +Ba ²⁺ (P ₂ O ₅ +Bi ₂ O ₃ +Nb ₂ O ₅ +TiO ₂ +WO ₃ +Li ₂ O+Na ₂ O+K ₂ O+B ₂ O ₃ +SiO ₂ +BaO)	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	
P ⁵⁺ +Bi ³⁺ +Nb ⁵⁺ +Ti ⁴⁺ +W ⁶⁺ +Li ⁺ +Na ⁺ +K ⁺ +Si ⁴⁺ +B ³⁺ (P ₂ O ₅ +Bi ₂ O ₃ +Nb ₂ O ₅ +TiO ₂ +WO ₃ +Li ₂ O+Na ₂ O+K ₂ O+SiO ₂ +B ₂ O ₃)	98.27	97.18	98.11	98.27	97.23	98.10	
K ⁺ +Ba ²⁺ (K ₂ O+BaO)	1.73	2.82	1.89	1.73	2.77	1.90	
K ⁺ +Ba ²⁺ +B ³⁺ (K ₂ O+BaO+B ₂ O ₃)	5.20	5.64	2.75	5.20	5.56	2.77	
アニオン成分	O ²⁻	100アニオン%		100アニオン%			
屈折率nd	2.10639		2.10791				
アッベ数vd	17.01		16.9				
液相温度 [°C]	970		990				
ガラス転移温度 [°C]	562.5		562.8				
比重	5.46		5.46				
液相温度における粘度 [dPa・s]	3.4		2.6				
λ 5 [nm]	424		428				
λ 70 [nm]	579						
ヌープ硬度	415		414				
摩耗度	210						
分子量(g/mol)	140.63		139.58				
モル体積	25.75		25.59				

10

20

30

40

No.	33			34			
	カチオン%	モル%	質量%	カチオン%	モル%	質量%	
カチオン成分 (酸化物表示)	P ⁵⁺ (P ₂ O ₅)	26.50	22.601	13.724	30.50	26.012	16.580
	Bi ³⁺ (Bi ₂ O ₃)	28.00	23.880	47.602	24.00	20.469	42.827
	Nb ⁵⁺ (Nb ₂ O ₅)	22.50	19.190	21.821	22.50	19.190	22.904
	Ti ⁴⁺ (TiO ₂)	11.25	19.190	6.558	11.25	19.190	6.883
	W ⁶⁺ (WO ₃)	5.00	8.529	8.459	5.00	8.529	8.879
	Li ⁺ (Li ₂ O)	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000
	Na ⁺ (Na ₂ O)	2.25	1.919	0.509	2.25	1.919	0.534
	K ⁺ (K ₂ O)	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000
	B ³⁺ (B ₂ O ₃)	3.50	2.985	0.889	3.50	2.985	0.933
	Ba ²⁺ (BaO)	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000
	Sr ²⁺ (SrO)	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000
	Ca ²⁺ (CaO)	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000
	Mg ²⁺ (CaO)	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000
	Si ⁴⁺ (SiO ₂)	1.00	1.706	0.438	1.00	1.706	0.460
	Zr ⁴⁺ (ZrO ₂)	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000
	合計	100.00	100.000	100.000	100.00	100.000	100.000
	Sb ₂ O ₃ (注2)	-	-	0.08	-	-	0.08
	Bi ³⁺ +Nb ⁵⁺ +Ti ⁴⁺ +W ⁶⁺ (Bi ₂ O ₃ +Nb ₂ O ₅ +TiO ₂ +WO ₃)	66.75	70.789	84.44	62.75	67.378	81.493
	Bi ³⁺ /(Bi ³⁺ +Nb ⁵⁺ +Ti ⁴⁺ +W ⁶⁺) Bi ₂ O ₃ /(Bi ₂ O ₃ +Nb ₂ O ₅ +TiO ₂ +WO ₃)	0.419	0.337	0.564	0.382	0.304	0.526
	Ti ⁴⁺ /(Bi ³⁺ +Nb ⁵⁺ +Ti ⁴⁺ +W ⁶⁺) TiO ₂ /(Bi ₂ O ₃ +Nb ₂ O ₅ +TiO ₂ +WO ₃)	0.169	0.271	0.078	0.179	0.285	0.084
(Nb ⁵⁺ +Ti ⁴⁺)/(Bi ³⁺ +Nb ⁵⁺ +Ti ⁴⁺ +W ⁶⁺) (Nb ₂ O ₅ +TiO ₂)/(Bi ₂ O ₃ +Nb ₂ O ₅ +TiO ₂ +WO ₃)	0.506	0.542	0.336	0.538	0.570	0.366	
Li ⁺ +Na ⁺ +K ⁺ (Li ₂ O+Na ₂ O+K ₂ O)	2.25	1.919	0.51	2.25	1.919	0.53	
Na ⁺ /(Li ⁺ +Na ⁺ +K ⁺) Na ₂ O/(Li ₂ O+Na ₂ O+K ₂ O)	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	
R ₂ O+RO	2.25	1.919	0.509	2.25	1.919	0.534	
R ₂ O+RO+B	5.75	4.90	1.40	5.75	4.90	1.47	
P ⁵⁺ +Bi ³⁺ +Nb ⁵⁺ +Ti ⁴⁺ +W ⁶⁺ +Li ⁺ +Na ⁺ +K ⁺ +B ³⁺ +Si ⁴⁺ +Ba ²⁺ (P ₂ O ₅ +Bi ₂ O ₃ +Nb ₂ O ₅ +TiO ₂ +WO ₃ +Li ₂ O+Na ₂ O+K ₂ O+B ₂ O ₃ +SiO ₂ +BaO)	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	
P ⁵⁺ +Bi ³⁺ +Nb ⁵⁺ +Ti ⁴⁺ +W ⁶⁺ +Li ⁺ +Na ⁺ +K ⁺ +Si ⁴⁺ +B ³⁺ (P ₂ O ₅ +Bi ₂ O ₃ +Nb ₂ O ₅ +TiO ₂ +WO ₃ +Li ₂ O+Na ₂ O+K ₂ O+SiO ₂ +B ₂ O ₃)	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	
K ⁺ +Ba ²⁺ (K ₂ O+BaO)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
K ⁺ +Ba ²⁺ +B ³⁺ (K ₂ O+BaO+B ₂ O ₃)	3.50	2.99	0.89	3.50	2.99	0.93	
アニオン成分	O ²⁻	100アニオン%		100アニオン%			
屈折率nd	2.12197		2.0768				
アッペ数vd	16.74		17.36				
液相温度 [°C]	980		1000				
ガラス転移温度 [°C]	551		559				
比重	5.44		5.12				
液相温度における粘度 [dPa·s]	3		2.3				
λ 5 [nm]	435		430				
λ 70 [nm]							
ヌーブ硬度	390		397				
摩耗度							
分子量(g/mol)	137.04		130.56				
モル体積	25.18		25.50				

10

20

30

40

No.	35			36			
	カチオン%	モル%	質量%	カチオン%	モル%	質量%	
カチオン成分 (酸化物表示)	P ⁵⁺ (P ₂ O ₅)	24.46	20.598	12.790	25.96	20.609	12.723
	Bi ³⁺ (Bi ₂ O ₃)	26.08	21.962	44.766	25.00	19.848	40.220
	Nb ⁵⁺ (Nb ₂ O ₅)	24.46	20.598	23.952	19.71	15.648	18.089
	Ti ⁴⁺ (TiO ₂)	12.23	20.598	7.198	10.82	17.180	5.969
	W ⁶⁺ (WO ₃)	5.43	9.145	9.275	12.50	19.848	20.012
	Li ⁺ (Li ₂ O)	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000
	Na ⁺ (Na ₂ O)	2.45	2.063	0.559	0.00	0.000	0.000
	K ⁺ (K ₂ O)	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000
	B ³⁺ (B ₂ O ₃)	3.80	3.200	0.975	3.37	2.675	0.810
	Ba ²⁺ (BaO)	0.00	0.000	0.000	1.68	2.668	1.779
	Sr ²⁺ (SrO)	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000
	Ca ²⁺ (CaO)	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000
	Mg ²⁺ (CaO)	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000
	Si ⁴⁺ (SiO ₂)	1.09	1.836	0.483	0.96	1.524	0.398
	Zr ⁴⁺ (ZrO ₂)	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000
	合計	100.00	100.000	100.000	100.00	100.000	100.000
	Sb ₂ O ₃ (注2)	-	-	0.08	-	-	0.08
	Bi ³⁺ +Nb ⁵⁺ +Ti ⁴⁺ +W ⁶⁺ (Bi ₂ O ₃ +Nb ₂ O ₅ +TiO ₂ +WO ₃)	68.2	72.303	85.193	68.03	72.524	84.29
	Bi ³⁺ /(Bi ³⁺ +Nb ⁵⁺ +Ti ⁴⁺ +W ⁶⁺) Bi ₂ O ₃ /(Bi ₂ O ₃ +Nb ₂ O ₅ +TiO ₂ +WO ₃)	0.382	0.304	0.525	0.367	0.274	0.477
	Ti ⁴⁺ /(Bi ³⁺ +Nb ⁵⁺ +Ti ⁴⁺ +W ⁶⁺) TiO ₂ /(Bi ₂ O ₃ +Nb ₂ O ₅ +TiO ₂ +WO ₃)	0.179	0.285	0.084	0.159	0.237	0.071
(Nb ⁵⁺ +Ti ⁴⁺)/(Bi ³⁺ +Nb ⁵⁺ +Ti ⁴⁺ +W ⁶⁺) (Nb ₂ O ₅ +TiO ₂)/(Bi ₂ O ₃ +Nb ₂ O ₅ +TiO ₂ +WO ₃)	0.538	0.570	0.366	0.449	0.453	0.285	
Li ⁺ +Na ⁺ +K ⁺ (Li ₂ O+Na ₂ O+K ₂ O)	2.45	2.063	0.56	0	0	0.00	
Na ⁺ /(Li ⁺ +Na ⁺ +K ⁺) Na ₂ O/(Li ₂ O+Na ₂ O+K ₂ O)	1.000	1.000	1.000	-	-	-	
R ₂ O+RO	2.45	2.063	0.559	1.68	2.668	1.779	
R ₂ O+RO+B	6.25	5.26	1.53	5.05	5.34	2.59	
P ⁵⁺ +Bi ³⁺ +Nb ⁵⁺ +Ti ⁴⁺ +W ⁶⁺ +Li ⁺ +Na ⁺ +K ⁺ +B ³⁺ +Si ⁴⁺ +Ba ²⁺ (P ₂ O ₅ +Bi ₂ O ₃ +Nb ₂ O ₅ +TiO ₂ +WO ₃ +Li ₂ O+Na ₂ O+K ₂ O+B ₂ O ₃ +SiO ₂ +BaO)	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	
P ⁵⁺ +Bi ³⁺ +Nb ⁵⁺ +Ti ⁴⁺ +W ⁶⁺ +Li ⁺ +Na ⁺ +K ⁺ +Si ⁴⁺ +B ³⁺ (P ₂ O ₅ +Bi ₂ O ₃ +Nb ₂ O ₅ +TiO ₂ +WO ₃ +Li ₂ O+Na ₂ O+K ₂ O+SiO ₂ +B ₂ O ₃)	100.00	100.00	100.00	98.32	97.33	98.22	
K ⁺ +Ba ²⁺ (K ₂ O+BaO)	0.00	0.00	0.00	1.68	2.67	1.78	
K ⁺ +Ba ²⁺ +B ³⁺ (K ₂ O+BaO+B ₂ O ₃)	3.80	3.20	0.98	5.05	5.34	2.59	
アニオン成分	O ²⁻	100アニオン%		100アニオン%			
屈折率nd	2.13917		2.12126				
アッペ数vd	16.37		16.58				
液相温度 [°C]	1040		990				
ガラス転移温度 [°C]	552		554.6				
比重	5.41		5.56				
液相温度における粘度 [dPa·s]	1.4		2.6				
λ 5 [nm]	426		427				
λ 70 [nm]			577				
ヌーブ硬度	408		400				
摩耗度							
分子量(g/mol)	135.72		144.81				
モル体積	25.09		26.03				

10

20

30

40

No.	37			38			
	カチオン%	モル%	質量%	カチオン%	モル%	質量%	
カチオン成分 (酸化物表示)	P ⁵⁺ (P ₂ O ₅)	22.47	18.517	11.166	28.19	24.255	15.278
	Bi ³⁺ (Bi ₂ O ₃)	29.22	24.079	47.666	25.54	21.976	45.437
	Nb ⁵⁺ (Nb ₂ O ₅)	23.03	18.978	21.431	23.94	20.599	24.296
	Ti ⁴⁺ (TiO ₂)	12.64	20.832	7.070	11.97	20.599	7.301
	W ⁶⁺ (WO ₃)	5.62	9.262	9.123	3.19	5.490	5.647
	Li ⁺ (Li ₂ O)	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000
	Na ⁺ (Na ₂ O)	0.00	0.000	0.000	2.39	2.056	0.566
	K ⁺ (K ₂ O)	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000
	B ³⁺ (B ₂ O ₃)	3.93	3.239	0.958	3.72	3.201	0.989
	Ba ²⁺ (BaO)	1.97	3.247	2.115	0.00	0.000	0.000
	Sr ²⁺ (SrO)	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000
	Ca ²⁺ (CaO)	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000
	Mg ²⁺ (CaO)	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000
	Si ⁴⁺ (SiO ₂)	1.12	1.846	0.471	1.06	1.824	0.486
	Zr ⁴⁺ (ZrO ₂)	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000
	合計	100.00	100.000	100.000	100.00	100.000	100.000
	Sb ₂ O ₃ (注2)	-	-	0.08	-	-	0.08
	Bi ³⁺ +Nb ⁵⁺ +Ti ⁴⁺ +W ⁶⁺ (Bi ₂ O ₃ +Nb ₂ O ₅ +TiO ₂ +WO ₃)	70.51	73.151	85.29	64.64	68.664	82.681
	Bi ³⁺ /(Bi ³⁺ +Nb ⁵⁺ +Ti ⁴⁺ +W ⁶⁺) Bi ₂ O ₃ /(Bi ₂ O ₃ +Nb ₂ O ₅ +TiO ₂ +WO ₃)	0.414	0.329	0.559	0.395	0.320	0.550
	Ti ⁴⁺ /(Bi ³⁺ +Nb ⁵⁺ +Ti ⁴⁺ +W ⁶⁺) TiO ₂ /(Bi ₂ O ₃ +Nb ₂ O ₅ +TiO ₂ +WO ₃)	0.179	0.285	0.083	0.185	0.300	0.088
(Nb ⁵⁺ +Ti ⁴⁺)/(Bi ³⁺ +Nb ⁵⁺ +Ti ⁴⁺ +W ⁶⁺) (Nb ₂ O ₅ +TiO ₂)/(Bi ₂ O ₃ +Nb ₂ O ₅ +TiO ₂ +WO ₃)	0.506	0.544	0.334	0.556	0.600	0.382	
Li ⁺ +Na ⁺ +K ⁺ (Li ₂ O+Na ₂ O+K ₂ O)	0	0	0.00	2.39	2.056	0.57	
Na ⁺ /(Li ⁺ +Na ⁺ +K ⁺) Na ₂ O/(Li ₂ O+Na ₂ O+K ₂ O)	-	-	-	1.000	1.000	1.000	
R ₂ O+RO	1.97	3.247	2.115	2.39	2.056	0.566	
R ₂ O+RO+B	5.90	6.49	3.07	6.11	5.26	1.56	
P ⁵⁺ +Bi ³⁺ +Nb ⁵⁺ +Ti ⁴⁺ +W ⁶⁺ +Li ⁺ +Na ⁺ +K ⁺ +B ³⁺ +Si ⁴⁺ +Ba ²⁺ (P ₂ O ₅ +Bi ₂ O ₃ +Nb ₂ O ₅ +TiO ₂ +WO ₃ +Li ₂ O+Na ₂ O+K ₂ O+B ₂ O ₃ +SiO ₂ +BaO)	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	
P ⁵⁺ +Bi ³⁺ +Nb ⁵⁺ +Ti ⁴⁺ +W ⁶⁺ +Li ⁺ +Na ⁺ +K ⁺ +Si ⁴⁺ +B ³⁺ (P ₂ O ₅ +Bi ₂ O ₃ +Nb ₂ O ₅ +TiO ₂ +WO ₃ +Li ₂ O+Na ₂ O+K ₂ O+SiO ₂ +B ₂ O ₃)	98.03	96.75	97.89	100.00	100.00	100.00	
K ⁺ +Ba ²⁺ (K ₂ O+BaO)	1.97	3.25	2.12	0.00	0.00	0.00	
K ⁺ +Ba ²⁺ +B ³⁺ (K ₂ O+BaO+B ₂ O ₃)	5.90	6.49	3.07	3.72	3.20	0.99	
アニオン成分	O ²⁻	100アニオン%		100アニオン%			
屈折率nd	2.16658		2.10204				
アッペ数vd	16.23		17.05				
液相温度 [°C]	1050		1010				
ガラス転移温度 [°C]	558.4		559				
比重	5.69		5.22				
液相温度における粘度 [dPa·s]	1.2		2				
λ 5 [nm]	430		421				
λ 70 [nm]							
ヌーブ硬度	400		386				
摩耗度							
分子量(g/mol)	142.82		130.96				
モル体積	25.12		25.10				

10

20

30

40

No.	39			40			
	カチオン%	モル%	質量%	カチオン%	モル%	質量%	
カチオン成分 (酸化物表示)	P ⁵⁺ (P ₂ O ₅)	26.63	21.628	13.941	24.11	18.371	11.329
	Bi ³⁺ (Bi ₂ O ₃)	26.12	21.213	44.886	23.22	17.693	35.818
	Nb ⁵⁺ (Nb ₂ O ₅)	20.60	16.730	20.195	18.30	13.944	16.103
	Ti ⁴⁺ (TiO ₂)	15.33	24.900	9.033	10.04	15.300	5.310
	W ⁶⁺ (WO ₃)	5.03	8.170	8.602	18.75	28.574	28.781
	Li ⁺ (Li ₂ O)	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000
	Na ⁺ (Na ₂ O)	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000
	K ⁺ (K ₂ O)	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000
	B ³⁺ (B ₂ O ₃)	3.52	2.858	0.904	3.13	2.385	0.721
	Ba ²⁺ (BaO)	1.76	2.859	1.991	1.56	2.377	1.584
	Sr ²⁺ (SrO)	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000
	Ca ²⁺ (CaO)	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000
	Mg ²⁺ (CaO)	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000
	Si ⁴⁺ (SiO ₂)	1.01	1.641	0.448	0.89	1.356	0.354
	Zr ⁴⁺ (ZrO ₂)	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000
	合計	100.00	100.000	100.000	100.00	100.000	100.000
	Sb ₂ O ₃ (注2)	-	-	0.08	-	-	0.08
	Bi ³⁺ +Nb ⁵⁺ +Ti ⁴⁺ +W ⁶⁺ (Bi ₂ O ₃ +Nb ₂ O ₅ +TiO ₂ +WO ₃)	67.08	71.013	82.716	70.31	75.511	86.012
	Bi ³⁺ /(Bi ³⁺ +Nb ⁵⁺ +Ti ⁴⁺ +W ⁶⁺) Bi ₂ O ₃ /(Bi ₂ O ₃ +Nb ₂ O ₅ +TiO ₂ +WO ₃)	0.389	0.299	0.543	0.330	0.234	0.416
	Ti ⁴⁺ /(Bi ³⁺ +Nb ⁵⁺ +Ti ⁴⁺ +W ⁶⁺) TiO ₂ /(Bi ₂ O ₃ +Nb ₂ O ₅ +TiO ₂ +WO ₃)	0.229	0.351	0.109	0.143	0.203	0.062
(Nb ⁵⁺ +Ti ⁴⁺)/(Bi ³⁺ +Nb ⁵⁺ +Ti ⁴⁺ +W ⁶⁺) (Nb ₂ O ₅ +TiO ₂)/(Bi ₂ O ₃ +Nb ₂ O ₅ +TiO ₂ +WO ₃)	0.536	0.586	0.353	0.403	0.387	0.249	
Li ⁺ +Na ⁺ +K ⁺ (Li ₂ O+Na ₂ O+K ₂ O)	0	#VALUE!	0.00	0	0	0.00	
Na ⁺ /(Li ⁺ +Na ⁺ +K ⁺) Na ₂ O/(Li ₂ O+Na ₂ O+K ₂ O)	-	-	-	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	
R ₂ O+RO	1.76	2.859	1.991	1.56	2.377	1.584	
R ₂ O+RO+B	5.28	5.72	2.90	4.69	4.76	2.31	
P ⁵⁺ +Bi ³⁺ +Nb ⁵⁺ +Ti ⁴⁺ +W ⁶⁺ +Li ⁺ +Na ⁺ +K ⁺ +B ³⁺ +Si ⁴⁺ +Ba ²⁺ (P ₂ O ₅ +Bi ₂ O ₃ +Nb ₂ O ₅ +TiO ₂ +WO ₃ +Li ₂ O+Na ₂ O+K ₂ O+B ₂ O ₃ +SiO ₂ +BaO)	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	
P ⁵⁺ +Bi ³⁺ +Nb ⁵⁺ +Ti ⁴⁺ +W ⁶⁺ +Li ⁺ +Na ⁺ +K ⁺ +Si ⁴⁺ +B ³⁺ (P ₂ O ₅ +Bi ₂ O ₃ +Nb ₂ O ₅ +TiO ₂ +WO ₃ +Li ₂ O+Na ₂ O+K ₂ O+SiO ₂ +B ₂ O ₃)	98.24	97.14	98.01	98.44	97.62	98.42	
K ⁺ +Ba ²⁺ (K ₂ O+BaO)	1.76	2.86	1.99	1.56	2.38	1.58	
K ⁺ +Ba ²⁺ +B ³⁺ (K ₂ O+BaO+B ₂ O ₃)	5.28	5.72	2.90	4.69	4.76	2.31	
アニオン成分	O ²⁻	100アニオン%		100アニオン%			
屈折率nd	2.12012		2.13211				
アッベ数vd	16.5		16.17				
液相温度 [°C]	1040		1020				
ガラス転移温度 [°C]	563		550				
比重	5.21		5.68				
液相温度における粘度 [dPa·s]	1.4		1.8				
λ 5 [nm]	421		455				
λ 70 [nm]							
ヌーブ硬度	409		390				
摩耗度							
分子量(g/mol)	135.57		151.04				
モル体積	26.01		26.59				

10

20

30

40

No.	41			42			
	カチオン%	モル%	質量%	カチオン%	モル%	質量%	
カチオン成分 (酸化物表示)	P ⁵⁺ (P ₂ O ₅)	27.48	22.592	12.977	24.49	18.815	11.731
	Bi ³⁺ (Bi ₂ O ₃)	26.46	21.755	41.016	23.59	18.124	37.094
	Nb ⁵⁺ (Nb ₂ O ₅)	20.87	17.159	18.455	18.59	14.262	16.676
	Ti ⁴⁺ (TiO ₂)	3.31	5.443	1.759	10.20	15.673	5.499
	W ⁶⁺ (WO ₃)	13.23	21.755	20.408	15.42	23.695	24.129
	Li ⁺ (Li ₂ O)	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000
	Na ⁺ (Na ₂ O)	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000
	K ⁺ (K ₂ O)	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000
	B ³⁺ (B ₂ O ₃)	3.56	2.927	0.825	3.17	2.435	0.745
	Ba ²⁺ (BaO)	4.07	6.692	4.152	3.63	5.578	3.757
	Sr ²⁺ (SrO)	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000
	Ca ²⁺ (CaO)	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000
	Mg ²⁺ (CaO)	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000
	Si ⁴⁺ (SiO ₂)	1.02	1.677	0.408	0.91	1.398	0.369
	Zr ⁴⁺ (ZrO ₂)	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000
	合計	100.00	100.000	100.000	100.00	100.000	100.000
	Sb ₂ O ₃ (注2)	-	-	0.08	-	-	0.08
	Bi ³⁺ +Nb ⁵⁺ +Ti ⁴⁺ +W ⁶⁺ (Bi ₂ O ₃ +Nb ₂ O ₅ +TiO ₂ +WO ₃)	63.87	66.112	81.636	67.8	71.774	83.398
	Bi ³⁺ /(Bi ³⁺ +Nb ⁵⁺ +Ti ⁴⁺ +W ⁶⁺) Bi ₂ O ₃ /(Bi ₂ O ₃ +Nb ₂ O ₅ +TiO ₂ +WO ₃)	0.414	0.329	0.502	0.348	0.253	0.445
	Ti ⁴⁺ /(Bi ³⁺ +Nb ⁵⁺ +Ti ⁴⁺ +W ⁶⁺) TiO ₂ /(Bi ₂ O ₃ +Nb ₂ O ₅ +TiO ₂ +WO ₃)	0.052	0.082	0.022	0.150	0.218	0.066
(Nb ⁵⁺ +Ti ⁴⁺)/(Bi ³⁺ +Nb ⁵⁺ +Ti ⁴⁺ +W ⁶⁺) (Nb ₂ O ₅ +TiO ₂)/(Bi ₂ O ₃ +Nb ₂ O ₅ +TiO ₂ +WO ₃)	0.379	0.342	0.248	0.425	0.417	0.266	
Li ⁺ +Na ⁺ +K ⁺ (Li ₂ O+Na ₂ O+K ₂ O)	0	0	0.00	0	0	0.00	
Na ⁺ /(Li ⁺ +Na ⁺ +K ⁺) Na ₂ O/(Li ₂ O+Na ₂ O+K ₂ O)	-	-	-	-	-	-	
R ₂ O+RO	4.07	6.692	4.152	3.63	5.578	3.757	
R ₂ O+RO+B	7.63	9.62	4.98	6.80	8.01	4.50	
P ⁵⁺ +Bi ³⁺ +Nb ⁵⁺ +Ti ⁴⁺ +W ⁶⁺ +Li ⁺ +Na ⁺ +K ⁺ +B ³⁺ +Si ⁴⁺ +Ba ²⁺ (P ₂ O ₅ +Bi ₂ O ₃ +Nb ₂ O ₅ +TiO ₂ +WO ₃ +Li ₂ O+Na ₂ O+K ₂ O+B ₂ O ₃ +SiO ₂ +BaO)	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	
P ⁵⁺ +Bi ³⁺ +Nb ⁵⁺ +Ti ⁴⁺ +W ⁶⁺ +Li ⁺ +Na ⁺ +K ⁺ +Si ⁴⁺ +B ³⁺ (P ₂ O ₅ +Bi ₂ O ₃ +Nb ₂ O ₅ +TiO ₂ +WO ₃ +Li ₂ O+Na ₂ O+K ₂ O+SiO ₂ +B ₂ O ₃)	95.93	93.31	95.85	96.37	94.42	96.24	
K ⁺ +Ba ²⁺ (K ₂ O+BaO)	4.07	6.69	4.15	3.63	5.58	3.76	
K ⁺ +Ba ²⁺ +B ³⁺ (K ₂ O+BaO+B ₂ O ₃)	7.63	9.62	4.98	6.80	8.01	4.50	
アニオン成分	O ²⁻	100アニオン%		100アニオン%			
屈折率nd	2.08103		2.12016				
アッペ数vd	17.74		16.62				
液相温度 [°C]	980		990				
ガラス転移温度 [°C]	552		559				
比重	5.70		5.66				
液相温度における粘度 [dPa·s]	2.8		2.6				
λ 5 [nm]	427		439				
λ 70 [nm]	615						
ヌープ硬度	375						
摩耗度	250						
分子量(g/mol)	150.30		148.16				
モル体積	26.37		26.20				

10

20

30

40

No.	43			44			
	カチオン%	モル%	質量%	カチオン%	モル%	質量%	
カチオン成分 (酸化物表示)	P ⁵⁺ (P ₂ O ₅)	19.46	16.125	10.546	27.48	21.512	13.547
	Bi ³⁺ (Bi ₂ O ₃)	25.31	20.973	45.028	28.46	20.714	42.818
	Nb ⁵⁺ (Nb ₂ O ₅)	19.95	16.531	20.246	14.76	11.555	13.625
	Ti ⁴⁺ (TiO ₂)	10.95	18.147	6.679	11.45	17.927	6.353
	W ⁶⁺ (WO ₃)	4.87	8.071	8.621	11.20	17.536	18.036
	Li ⁺ (Li ₂ O)	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000
	Na ⁺ (Na ₂ O)	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000
	K ⁺ (K ₂ O)	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000
	B ³⁺ (B ₂ O ₃)	14.60	12.098	3.881	3.56	2.787	0.861
	Ba ²⁺ (BaO)	3.89	6.447	4.554	4.07	6.372	4.334
	Sr ²⁺ (SrO)	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000
	Ca ²⁺ (CaO)	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000
	Mg ²⁺ (CaO)	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000
	Si ⁴⁺ (SiO ₂)	0.97	1.608	0.445	1.02	1.597	0.426
	Zr ⁴⁺ (ZrO ₂)	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000
	合計	100.00	100.000	100.000	100.00	100.000	100.000
	Sb ₂ O ₃ (注2)	-	-	0.08	-	-	0.08
	Bi ³⁺ +Nb ⁵⁺ +Ti ⁴⁺ +W ⁶⁺ (Bi ₂ O ₃ +Nb ₂ O ₅ +TiO ₂ +WO ₃)	61.08	63.722	80.574	63.87	67.732	80.832
	Bi ³⁺ /(Bi ³⁺ +Nb ⁵⁺ +Ti ⁴⁺ +W ⁶⁺) Bi ₂ O ₃ /(Bi ₂ O ₃ +Nb ₂ O ₅ +TiO ₂ +WO ₃)	0.414	0.329	0.559	0.414	0.306	0.530
	Ti ⁴⁺ /(Bi ³⁺ +Nb ⁵⁺ +Ti ⁴⁺ +W ⁶⁺) TiO ₂ /(Bi ₂ O ₃ +Nb ₂ O ₅ +TiO ₂ +WO ₃)	0.179	0.285	0.083	0.179	0.265	0.079
	(Nb ⁵⁺ +Ti ⁴⁺)/(Bi ³⁺ +Nb ⁵⁺ +Ti ⁴⁺ +W ⁶⁺) (Nb ₂ O ₅ +TiO ₂)/(Bi ₂ O ₃ +Nb ₂ O ₅ +TiO ₂ +WO ₃)	0.506	0.544	0.334	0.410	0.435	0.247
	Li ⁺ +Na ⁺ +K ⁺ (Li ₂ O+Na ₂ O+K ₂ O)	0	0	0.00	0	0	0.00
	Na ⁺ /(Li ⁺ +Na ⁺ +K ⁺) Na ₂ O/(Li ₂ O+Na ₂ O+K ₂ O)	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	-	-	-
R ₂ O+RO	3.89	6.447	4.554	4.07	6.372	4.334	
R ₂ O+RO+B	18.49	18.55	8.44	7.63	9.16	5.20	
P ⁵⁺ +Bi ³⁺ +Nb ⁵⁺ +Ti ⁴⁺ +W ⁶⁺ +Li ⁺ +Na ⁺ +K ⁺ +B ³⁺ +Si ⁴⁺ +Ba ²⁺ (P ₂ O ₅ +Bi ₂ O ₃ +Nb ₂ O ₅ +TiO ₂ +WO ₃ +Li ₂ O+Na ₂ O+K ₂ O+B ₂ O ₃ +SiO ₂ +BaO)	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	
P ⁵⁺ +Bi ³⁺ +Nb ⁵⁺ +Ti ⁴⁺ +W ⁶⁺ +Li ⁺ +Na ⁺ +K ⁺ +Si ⁴⁺ +B ³⁺ (P ₂ O ₅ +Bi ₂ O ₃ +Nb ₂ O ₅ +TiO ₂ +WO ₃ +Li ₂ O+Na ₂ O+K ₂ O+SiO ₂ +B ₂ O ₃)	96.11	93.55	95.45	95.93	93.63	95.67	
K ⁺ +Ba ²⁺ (K ₂ O+BaO)	3.89	6.45	4.55	4.07	6.37	4.33	
K ⁺ +Ba ²⁺ +B ³⁺ (K ₂ O+BaO+B ₂ O ₃)	18.49	18.55	8.44	7.63	9.16	5.20	
アニオン成分	O ²⁻	100アニオン%		100アニオン%			
屈折率nd	2.11198		2.09439				
アッペ数vd	17.21		17.3				
液相温度 [°C]	1040		980				
ガラス転移温度 [°C]	543.8		556				
比重	5.48		5.63				
液相温度における粘度 [dPa·s]	1.2		2.8				
λ 5 [nm]	421		431				
λ 70 [nm]	541		648				
ヌーブ硬度	416		381				
摩耗度							
分子量(g/mol)	130.96		143.97				
モル体積	23.89		25.59				

10

20

30

40

No.	45			46			
	カチオン%	モル%	質量%	カチオン%	モル%	質量%	
カチオン成分 (酸化物表示)	P ⁵⁺ (P ₂ O ₅)	29.19	23.331	14.747	28.28	22.697	14.059
	Bi ³⁺ (Bi ₂ O ₃)	24.32	19.440	40.332	25.13	20.169	41.010
	Nb ⁵⁺ (Nb ₂ O ₅)	19.76	15.794	18.694	20.42	16.388	19.009
	Ti ⁴⁺ (TiO ₂)	11.40	18.224	6.482	11.78	18.909	6.591
	W ⁶⁺ (WO ₃)	9.12	14.579	15.051	9.42	15.120	15.297
	Li ⁺ (Li ₂ O)	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000
	Na ⁺ (Na ₂ O)	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000
	K ⁺ (K ₂ O)	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000
	B ³⁺ (B ₂ O ₃)	1.62	1.295	0.401	1.57	1.260	0.383
	Ba ²⁺ (BaO)	3.51	5.611	3.831	3.40	5.457	3.651
	Sr ²⁺ (SrO)	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000
	Ca ²⁺ (CaO)	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000
	Mg ²⁺ (CaO)	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000
	Si ⁴⁺ (SiO ₂)	1.08	1.726	0.462	0.00	0.000	0.000
	Zr ⁴⁺ (ZrO ₂)	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000
	合計	100.00	100.000	100.000	100.00	100.000	100.000
	Sb ₂ O ₃ (注2)	-	-	0.08	-	-	0.08
	Bi ³⁺ +Nb ⁵⁺ +Ti ⁴⁺ +W ⁶⁺ (Bi ₂ O ₃ +Nb ₂ O ₅ +TiO ₂ +WO ₃)	64.6	68.037	80.559	66.75	70.586	81.907
	Bi ³⁺ /(Bi ³⁺ +Nb ⁵⁺ +Ti ⁴⁺ +W ⁶⁺) Bi ₂ O ₃ /(Bi ₂ O ₃ +Nb ₂ O ₅ +TiO ₂ +WO ₃)	0.376	0.286	0.501	0.376	0.286	0.501
	Ti ⁴⁺ /(Bi ³⁺ +Nb ⁵⁺ +Ti ⁴⁺ +W ⁶⁺) TiO ₂ /(Bi ₂ O ₃ +Nb ₂ O ₅ +TiO ₂ +WO ₃)	0.176	0.268	0.080	0.176	0.268	0.080
(Nb ⁵⁺ +Ti ⁴⁺)/(Bi ³⁺ +Nb ⁵⁺ +Ti ⁴⁺ +W ⁶⁺) (Nb ₂ O ₅ +TiO ₂)/(Bi ₂ O ₃ +Nb ₂ O ₅ +TiO ₂ +WO ₃)	0.482	0.500	0.313	0.482	0.500	0.313	
Li ⁺ +Na ⁺ +K ⁺ (Li ₂ O+Na ₂ O+K ₂ O)	0	0	0.00	0	0	0.00	
Na ⁺ /(Li ⁺ +Na ⁺ +K ⁺) Na ₂ O/(Li ₂ O+Na ₂ O+K ₂ O)	-	-	-	-	-	-	
R ₂ O+RO	3.51	5.611	3.831	3.40	5.457	3.651	
R ₂ O+RO+B	5.13	6.91	4.23	4.97	6.72	4.03	
P ⁵⁺ +Bi ³⁺ +Nb ⁵⁺ +Ti ⁴⁺ +W ⁶⁺ +Li ⁺ +Na ⁺ +K ⁺ +B ³⁺ +Si ⁴⁺ +Ba ²⁺ (P ₂ O ₅ +Bi ₂ O ₃ +Nb ₂ O ₅ +TiO ₂ +WO ₃ +Li ₂ O+Na ₂ O+K ₂ O+B ₂ O ₃ +SiO ₂ +BaO)	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	
P ⁵⁺ +Bi ³⁺ +Nb ⁵⁺ +Ti ⁴⁺ +W ⁶⁺ +Li ⁺ +Na ⁺ +K ⁺ +Si ⁴⁺ +B ³⁺ (P ₂ O ₅ +Bi ₂ O ₃ +Nb ₂ O ₅ +TiO ₂ +WO ₃ +Li ₂ O+Na ₂ O+K ₂ O+SiO ₂ +B ₂ O ₃)	96.49	94.39	96.17	96.60	94.54	96.35	
K ⁺ +Ba ²⁺ (K ₂ O+BaO)	3.51	5.61	3.83	3.40	5.46	3.65	
K ⁺ +Ba ²⁺ +B ³⁺ (K ₂ O+BaO+B ₂ O ₃)	5.13	6.91	4.23	4.97	6.72	4.03	
アニオン成分	O ²⁻	100アニオン%		100アニオン%			
屈折率nd	2.09041		2.10958				
アッベ数vd	17.24		16.93				
液相温度 [°C]	970		970				
ガラス転移温度 [°C]	574		572				
比重	5.41		5.51				
液相温度における粘度 [dPa·s]	3.2		3.4				
λ 5 [nm]	415		419				
λ 70 [nm]	469		482				
ヌーブ硬度	411		405				
摩耗度			210				
分子量(g/mol)	140.48		142.77				
モル体積	25.97		25.91				

10

20

30

40

No.	47			48			
	カチオン%	モル%	質量%	カチオン%	モル%	質量%	
カチオン成分 (酸化物表示)	P ⁵⁺ (P ₂ O ₅)	26.34	21.010	13.223	28.19	22.697	14.266
	Bi ³⁺ (Bi ₂ O ₃)	25.37	20.236	41.806	25.53	20.556	42.410
	Nb ⁵⁺ (Nb ₂ O ₅)	19.51	15.562	18.341	20.48	16.490	19.408
	Ti ⁴⁺ (TiO ₂)	11.46	18.282	6.475	12.23	19.693	6.966
	W ⁶⁺ (WO ₃)	8.78	14.007	14.398	7.45	11.997	12.316
	Li ⁺ (Li ₂ O)	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000
	Na ⁺ (Na ₂ O)	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000
	K ⁺ (K ₂ O)	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000
	B ³⁺ (B ₂ O ₃)	3.41	2.720	0.840	1.60	1.288	0.397
	Ba ²⁺ (BaO)	4.15	6.620	4.501	3.46	5.572	3.783
	Sr ²⁺ (SrO)	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000
	Ca ²⁺ (CaO)	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000
	Mg ²⁺ (CaO)	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000
	Si ⁴⁺ (SiO ₂)	0.98	1.563	0.416	1.06	1.707	0.454
	Zr ⁴⁺ (ZrO ₂)	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000
	合計	100.00	100.000	100.000	100.00	100.000	100.000
	Sb ₂ O ₃ (注2)	-	-	0.08	-	-	0.08
	Bi ³⁺ +Nb ⁵⁺ +Ti ⁴⁺ +W ⁶⁺ (Bi ₂ O ₃ +Nb ₂ O ₅ +TiO ₂ +WO ₃)	65.12	68.087	81.02	65.69	68.736	81.1
	Bi ³⁺ /(Bi ³⁺ +Nb ⁵⁺ +Ti ⁴⁺ +W ⁶⁺) Bi ₂ O ₃ /(Bi ₂ O ₃ +Nb ₂ O ₅ +TiO ₂ +WO ₃)	0.390	0.297	0.516	0.389	0.299	0.523
	Ti ⁴⁺ /(Bi ³⁺ +Nb ⁵⁺ +Ti ⁴⁺ +W ⁶⁺) TiO ₂ /(Bi ₂ O ₃ +Nb ₂ O ₅ +TiO ₂ +WO ₃)	0.176	0.269	0.080	0.186	0.287	0.086
(Nb ⁵⁺ +Ti ⁴⁺)/(Bi ³⁺ +Nb ⁵⁺ +Ti ⁴⁺ +W ⁶⁺) (Nb ₂ O ₅ +TiO ₂)/(Bi ₂ O ₃ +Nb ₂ O ₅ +TiO ₂ +WO ₃)	0.476	0.497	0.306	0.498	0.526	0.325	
Li ⁺ +Na ⁺ +K ⁺ (Li ₂ O+Na ₂ O+K ₂ O)	0	0	0.00	0	0	0.00	
Na ⁺ /(Li ⁺ +Na ⁺ +K ⁺) Na ₂ O/(Li ₂ O+Na ₂ O+K ₂ O)	-	-	-	-	-	-	
R ₂ O+RO	4.15	6.620	4.501	3.46	5.572	3.783	
R ₂ O+RO+B	7.56	9.34	5.34	5.06	6.86	4.18	
P ⁵⁺ +Bi ³⁺ +Nb ⁵⁺ +Ti ⁴⁺ +W ⁶⁺ +Li ⁺ +Na ⁺ +K ⁺ +B ³⁺ +Si ⁴⁺ +Ba ²⁺ (P ₂ O ₅ +Bi ₂ O ₃ +Nb ₂ O ₅ +TiO ₂ +WO ₃ +Li ₂ O+Na ₂ O+K ₂ O+B ₂ O ₃ +SiO ₂ +BaO)	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	
P ⁵⁺ +Bi ³⁺ +Nb ⁵⁺ +Ti ⁴⁺ +W ⁶⁺ +Li ⁺ +Na ⁺ +K ⁺ +Si ⁴⁺ +B ³⁺ (P ₂ O ₅ +Bi ₂ O ₃ +Nb ₂ O ₅ +TiO ₂ +WO ₃ +Li ₂ O+Na ₂ O+K ₂ O+SiO ₂ +B ₂ O ₃)	95.85	93.38	95.50	96.54	94.43	96.22	
K ⁺ +Ba ²⁺ (K ₂ O+BaO)	4.15	6.62	4.50	3.46	5.57	3.78	
K ⁺ +Ba ²⁺ +B ³⁺ (K ₂ O+BaO+B ₂ O ₃)	7.56	9.34	5.34	5.06	6.86	4.18	
アニオン成分	O ²⁻	100アニオン%		100アニオン%			
屈折率nd	2.10795		2.10523				
アッペ数vd	17.07		17.04				
液相温度 [°C]	980		975				
ガラス転移温度 [°C]	565		576				
比重	5.54		5.42				
液相温度における粘度 [dPa·s]	2.4		3.2				
λ 5 [nm]	423		423				
λ 70 [nm]	532		534				
ヌーブ硬度	428		425				
摩耗度							
分子量(g/mol)	141.38		140.25				
モル体積	25.52		25.88				

10

20

30

40

No.	49			50			
	カチオン%	モル%	質量%	カチオン%	モル%	質量%	
カチオン成分 (酸化物表示)	P ⁵⁺ (P ₂ O ₅)	30.420	25.006	15.258	29.51	24.326	14.391
	Bi ³⁺ (Bi ₂ O ₃)	26.800	22.031	44.128	26.23	21.622	41.993
	Nb ⁵⁺ (Nb ₂ O ₅)	21.130	17.370	19.847	21.31	17.567	19.461
	Ti ⁴⁺ (TiO ₂)	11.600	19.071	6.549	7.92	13.057	4.347
	W ⁶⁺ (WO ₃)	7.220	11.870	11.830	9.84	16.223	15.676
	Li ⁺ (Li ₂ O)	0.000	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000
	Na ⁺ (Na ₂ O)	0.000	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000
	K ⁺ (K ₂ O)	0.000	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000
	B ³⁺ (B ₂ O ₃)	0.000	0.000	0.000	1.64	1.352	0.392
	Ba ²⁺ (BaO)	1.800	2.959	1.951	3.55	5.853	3.740
	Sr ²⁺ (SrO)	0.000	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000
	Ca ²⁺ (CaO)	0.000	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000
	Mg ²⁺ (CaO)	0.000	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000
	Si ⁴⁺ (SiO ₂)	1.030	1.693	0.437	0.00	0.000	0.000
	Zr ⁴⁺ (ZrO ₂)	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000
	合計	100.00	100.000	100.000	100.00	100.000	100.000
	Sb ₂ O ₃ (注2)	-	-	0.08	-	-	0.08
	Bi ³⁺ +Nb ⁵⁺ +Ti ⁴⁺ +W ⁶⁺ (Bi ₂ O ₃ +Nb ₂ O ₅ +TiO ₂ +WO ₃)	66.75	70.342	82.354	65.3	68.469	81.477
	Bi ³⁺ /(Bi ³⁺ +Nb ⁵⁺ +Ti ⁴⁺ +W ⁶⁺) Bi ₂ O ₃ /(Bi ₂ O ₃ +Nb ₂ O ₅ +TiO ₂ +WO ₃)	0.401	0.313	0.536	0.402	0.316	0.515
	Ti ⁴⁺ /(Bi ³⁺ +Nb ⁵⁺ +Ti ⁴⁺ +W ⁶⁺) TiO ₂ /(Bi ₂ O ₃ +Nb ₂ O ₅ +TiO ₂ +WO ₃)	0.174	0.271	0.080	0.121	0.191	0.053
(Nb ⁵⁺ +Ti ⁴⁺)/(Bi ³⁺ +Nb ⁵⁺ +Ti ⁴⁺ +W ⁶⁺) (Nb ₂ O ₅ +TiO ₂)/(Bi ₂ O ₃ +Nb ₂ O ₅ +TiO ₂ +WO ₃)	0.490	0.518	0.321	0.448	0.447	0.292	
Li ⁺ +Na ⁺ +K ⁺ (Li ₂ O+Na ₂ O+K ₂ O)	0	0	0.00	0	0	0.00	
Na ⁺ /(Li ⁺ +Na ⁺ +K ⁺) Na ₂ O/(Li ₂ O+Na ₂ O+K ₂ O)	-	-	-	-	-	-	
R ₂ O+RO	1.80	2.959	1.951	3.55	5.853	3.740	
R ₂ O+RO+B	1.80	2.96	1.95	5.19	7.21	4.13	
P ⁵⁺ +Bi ³⁺ +Nb ⁵⁺ +Ti ⁴⁺ +W ⁶⁺ +Li ⁺ +Na ⁺ +K ⁺ +B ³⁺ +Si ⁴⁺ +Ba ²⁺ (P ₂ O ₅ +Bi ₂ O ₃ +Nb ₂ O ₅ +TiO ₂ +WO ₃ +Li ₂ O+Na ₂ O+K ₂ O+B ₂ O ₃ +SiO ₂ +BaO)	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	
P ⁵⁺ +Bi ³⁺ +Nb ⁵⁺ +Ti ⁴⁺ +W ⁶⁺ +Li ⁺ +Na ⁺ +K ⁺ +Si ⁴⁺ +B ³⁺ (P ₂ O ₅ +Bi ₂ O ₃ +Nb ₂ O ₅ +TiO ₂ +WO ₃ +Li ₂ O+Na ₂ O+K ₂ O+SiO ₂ +B ₂ O ₃)	98.20	97.04	98.05	98.45	94.15	96.26	
K ⁺ +Ba ²⁺ (K ₂ O+BaO)	1.80	2.96	1.95	3.55	5.85	3.74	
K ⁺ +Ba ²⁺ +B ³⁺ (K ₂ O+BaO+B ₂ O ₃)	1.80	2.96	1.95	5.19	7.21	4.13	
アニオン成分	O ²⁻	100アニオン%		100アニオン%			
屈折率nd	2.1031		2.10795				
アッベ数vd	17.05		17.07				
液相温度 [°C]	980		1000				
ガラス転移温度 [°C]	579		567				
比重	5.43		5.55				
液相温度における粘度 [dPa·s]	3.0		2.6				
λ 5 [nm]	425		416				
λ 70 [nm]	612		644				
ヌーブ硬度	415		384				
摩耗度			230				
分子量(g/mol)	141.49		145.53				
モル体積	26.06		26.22				

10

20

30

40

No.	51			比較例1			
	カチオン%	モル%	質量%	カチオン%	モル%	質量%	
カチオン成分 (酸化物表示)	P ⁵⁺ (P ₂ O ₅)	29.51	23.478	15.087	22.03	19.7460	12.0
	Bi ³⁺ (Bi ₂ O ₃)	21.85	17.384	36.669	22.37	20.0500	40.0
	Nb ⁵⁺ (Nb ₂ O ₅)	21.31	16.954	20.401	24.51	21.9680	25.0
	Ti ⁴⁺ (TiO ₂)	12.30	19.572	7.078	0.00	0.0000	0.0
	W ⁶⁺ (WO ₃)	9.84	15.658	16.433	5.61	10.0560	10.0
	Li ⁺ (Li ₂ O)	0.00	0.000	0.000	0.00	0.0000	0.0
	Na ⁺ (Na ₂ O)	0.00	0.000	0.000	0.00	0.0000	0.0
	K ⁺ (K ₂ O)	0.00	0.000	0.000	8.29	7.4300	3.0
	B ³⁺ (B ₂ O ₃)	1.64	1.305	0.411	11.23	10.0660	3.0
	Ba ²⁺ (BaO)	3.55	5.649	3.921	5.96	10.6840	7.0
	Sr ²⁺ (SrO)	0.00	0.000	0.000	0.00	0.0000	0.0
	Ca ²⁺ (CaO)	0.00	0.000	0.000	0.00	0.0000	0.0
	Mg ²⁺ (CaO)	0.00	0.000	0.000	0.00	0.0000	0.0
	Si ⁴⁺ (SiO ₂)	0.00	0.000	0.000	0.00	0.0000	0.0
	Zr ⁴⁺ (ZrO ₂)	0.00	0.000	0.000	0.00	0.0000	0.0
	合計	100.00	100.000	100.000	100.00	100.000	100.0
	Sb ₂ O ₃ (注2)	-	-	0.08	-	-	0.08
	Bi ³⁺ +Nb ⁵⁺ +Ti ⁴⁺ +W ⁶⁺ (Bi ₂ O ₃ +Nb ₂ O ₅ +TiO ₂ +WO ₃)	65.3	69.568	80.581	52.49	52.074	74.987
	Bi ³⁺ /(Bi ³⁺ +Nb ⁵⁺ +Ti ⁴⁺ +W ⁶⁺) Bi ₂ O ₃ /(Bi ₂ O ₃ +Nb ₂ O ₅ +TiO ₂ +WO ₃)	0.335	0.250	0.455	0.426	0.385	0.533
	Ti ⁴⁺ /(Bi ³⁺ +Nb ⁵⁺ +Ti ⁴⁺ +W ⁶⁺) TiO ₂ /(Bi ₂ O ₃ +Nb ₂ O ₅ +TiO ₂ +WO ₃)	0.188	0.281	0.088	0.000	0.000	0.000
	(Nb ⁵⁺ +Ti ⁴⁺)/(Bi ³⁺ +Nb ⁵⁺ +Ti ⁴⁺ +W ⁶⁺) (Nb ₂ O ₅ +TiO ₂)/(Bi ₂ O ₃ +Nb ₂ O ₅ +TiO ₂ +WO ₃)	0.515	0.525	0.341	0.467	0.422	0.333
	Li ⁺ +Na ⁺ +K ⁺ (Li ₂ O+Na ₂ O+K ₂ O)	0	0	0.00	8.29	7.43	3.00
	Na ⁺ /(Li ⁺ +Na ⁺ +K ⁺) Na ₂ O/(Li ₂ O+Na ₂ O+K ₂ O)	-	-	-	0.000	0.000	0.000
	R ₂ O+RO	3.55	5.649	3.921	14.25	18.114	10.011
	R ₂ O+RO+B	5.19	6.95	4.33	25.48	28.18	13.01
	P ⁵⁺ +Bi ³⁺ +Nb ⁵⁺ +Ti ⁴⁺ +W ⁶⁺ +Li ⁺ +Na ⁺ +K ⁺ +B ³⁺ +Si ⁴⁺ +Ba ²⁺ (P ₂ O ₅ +Bi ₂ O ₃ +Nb ₂ O ₅ +TiO ₂ +WO ₃ +Li ₂ O+Na ₂ O+K ₂ O+B ₂ O ₃ +SiO ₂ +BaO)	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
P ⁵⁺ +Bi ³⁺ +Nb ⁵⁺ +Ti ⁴⁺ +W ⁶⁺ +Li ⁺ +Na ⁺ +K ⁺ +Si ⁴⁺ +B ³⁺ (P ₂ O ₅ +Bi ₂ O ₃ +Nb ₂ O ₅ +TiO ₂ +WO ₃ +Li ₂ O+Na ₂ O+K ₂ O+SiO ₂ +B ₂ O ₃)	96.45	94.35	96.08	94.04	89.32	92.99	
K ⁺ +Ba ²⁺ (K ₂ O+BaO)	3.55	5.65	3.92	14.25	18.11	10.01	
K ⁺ +Ba ²⁺ +B ³⁺ (K ₂ O+BaO+B ₂ O ₃)	5.19	6.95	4.33	25.48	28.18	13.01	
アニオン成分	O ²⁻	100アニオン%		100アニオン%			
屈折率nd	2.10523		2.017				
アッペ数vd	17.04		19.3				
液相温度 [°C]	975		40				
ガラス転移温度 [°C]	581		536				
比重	5.30		5.38				
液相温度における粘度 [dPa·s]	3.0						
λ 5 [nm]	416		409				
λ 70 [nm]	499		505				
ヌーブ硬度	413		346				
摩耗度							
分子量(g/mol)	138.82		130.29				
モル体積	26.19		24.22				

(注1) モル%、質量%の各表示による含有量、合計含有量、含有量比は酸化物基準である。

(注2) Sb_2O_3 は質量%表示による外割り添加量のみを表示する。

【0092】

(比較例1)

特許文献2の実施例3の組成を有するガラスを再現し、ヌーブ硬度を測定したところ、ヌーブ硬度の値は346であった。また、屈折率 n_d の測定値は2.017、アッベ数 d の測定値は19.3であった。

【0093】

(実施例2)

実施例1と同様にして光学ガラスNo. 1~51が得られるようにガラス原料を加熱、熔融、清澄、均質化し、得られた熔融ガラスを鋳型に流し込んで急冷し、ガラスブラックに成形した。次にガラスブロックをアニールした後、切断、研削してプレス成形用ガラス素材を作製した。

【0094】

(実施例3)

実施例2において作製したプレス成形用ガラス素材を加熱、軟化し、プレス成形型を用いて公知の方法によりプレス成形し、レンズブランク、プリズムブランクなどの光学素子ブランクを作製した。

得られた光学素子ブランクは精密アニールが施され、所要の屈折率になるよう屈折率の精密調整を行った後、公知の研削、研磨法によりレンズやプリズムに仕上げる。研磨では、酸化セリウム、酸化ジルコニウムなどの砥粒を用いることができる。得られたレンズ、プリズムの光学機能面を検査したところ、加傷は認められなかった。このようにして高品質の光学素子を高い生産性のもとに提供することができる。

【0095】

(実施例4)

次に実施例2において作製したプレス成形用ガラス素材の表面を研磨して精密プレス成形用のプレス成形用ガラス素材(プリフォーム)とした。プリフォーム表面を検査したところ、加傷は認められなかった。このプリフォームを加熱、精密プレス成形して非球面レンズを得た。精密プレス成形は公知の方法で行った。精密プレス成形で得た非球面レンズを両側から挟持し、公知の方法により芯取り加工を行って芯取りレンズを作製した。得られたレンズの光学機能面を検査したところ、加傷は認められず、芯取り加工時に挟持した箇所にも傷は認められなかった。このようにして高品質の光学素子を高い生産性のもとに提供することができる。

【0096】

(実施例5)

実施例1と同様にして光学ガラスNo. 1~51が得られるようにガラス原料を加熱、熔融、清澄、均質化し、得られた熔融ガラスを鋳型に流し込んで急冷し、ガラスブラックに成形した。次にガラスブロックをアニールした後、切断、研削、研磨して球面レンズ、プリズムなどの光学素子を作製した。研磨では、酸化セリウム、酸化ジルコニウムなどの砥粒を用いることができる。

【0097】

上記各種光学素子の光学機能面を検査したところ、加傷は認められなかった。

得られたレンズを用いて撮像光学系を構成したところ、色再現性のよい撮像装置を得ることができた。

また、得られたレンズを用いて携帯電話搭載の撮像ユニットや光ピックアップユニットを作製したところ、振動に対して焦点位置ズレの極めて少ないユニットを得ることができた。

【0098】

本実施例の光学素子は、低分散ガラス製光学素子との組合せにより良好な色収差補正を

10

20

30

40

50

可能にする。また、撮像装置をはじめ各種光学機器の高性能化、コンパクト化に有効である。

【 0 0 9 9 】

(比較例 2)

比較例 1 において得られた特許文献 2 に記載の組成を再現したガラスを研削、研磨してレンズ形状に加工したところ、光学機能面に相当する面に加傷が認められ、レンズとしては使用できないものであった。この結果から、比較例 1 のガラスを用いて研削、研磨によってプリフォームを作製したとしてもプリフォーム表面が傷つき、仮にこのようなプリフォームを用いて精密プレス成形ができたとしても、プリフォーム作製時の傷が精密プレス成形品の表面に残存することは明らかである。

【図1】

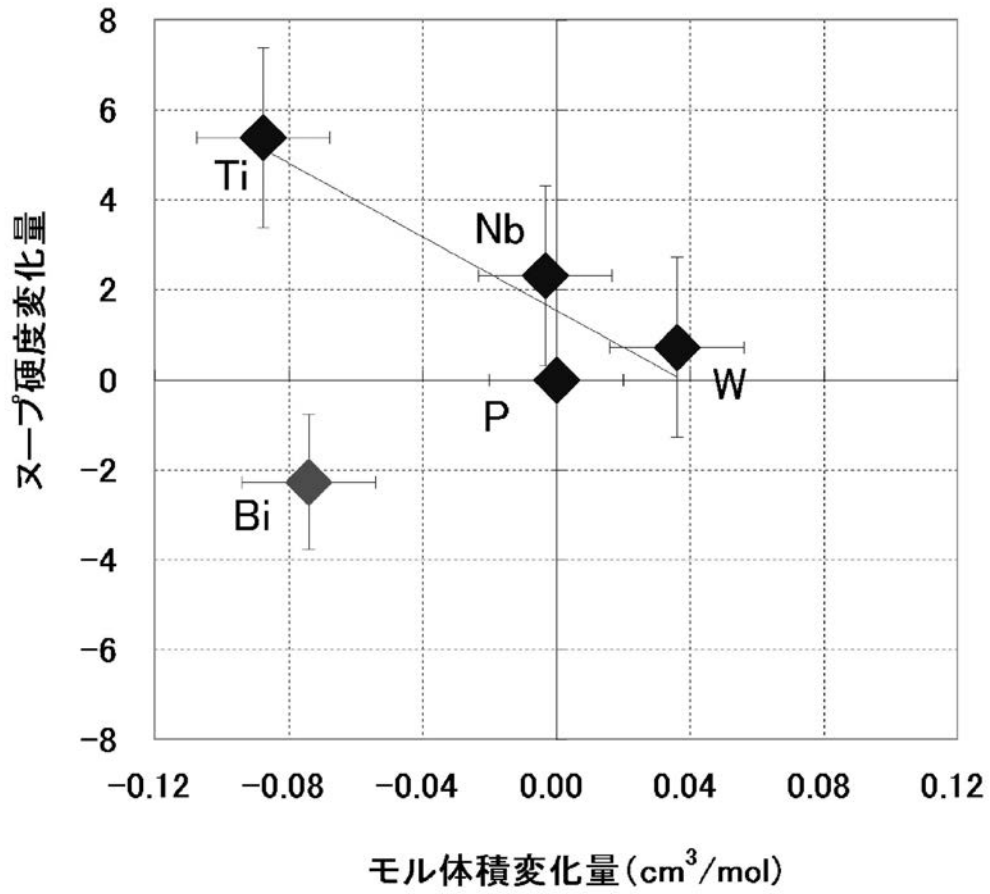


図1 モル体積とヌープ硬度の関係(網目形成成分)

【 図 2 】

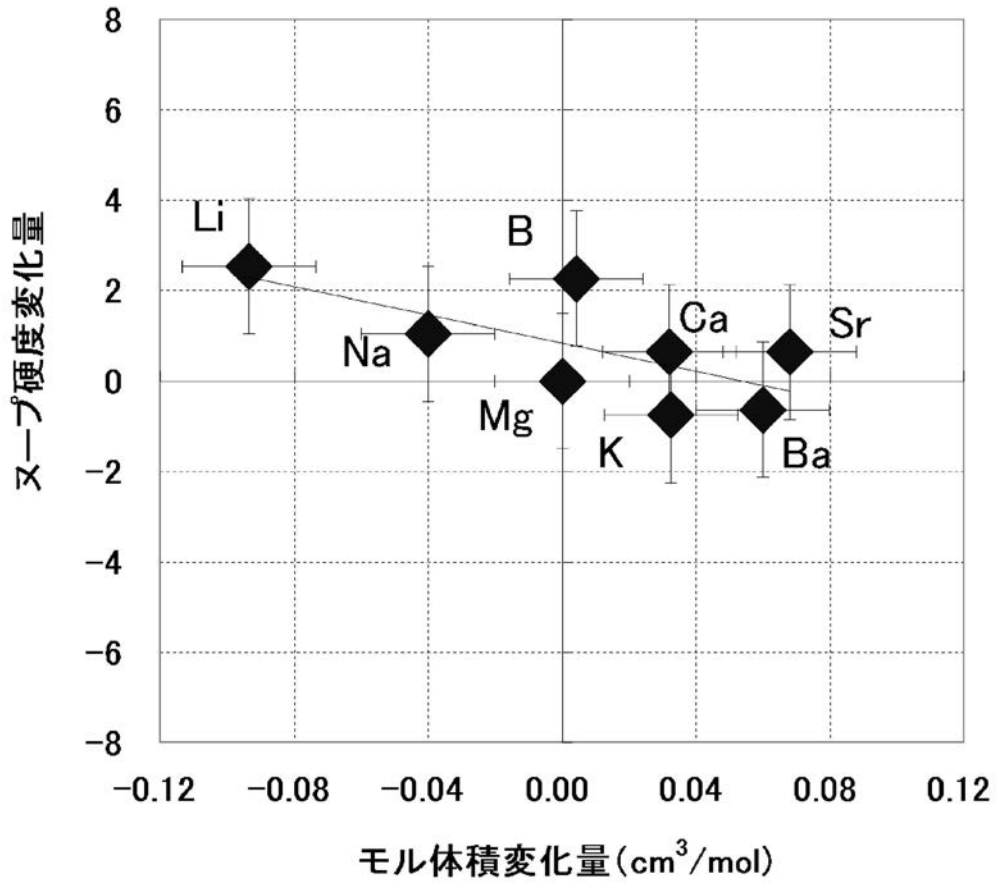


図2 モル体積とヌープ硬度の関係(修飾成分)

フロントページの続き

(56)参考文献 国際公開第2010/084925(WO, A1)
特開2006-111499(JP, A)
特開2010-275182(JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
C03C 1/00 - 14/00
INTERGLAD