

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 10 月 7 日現在

機関番号：14303

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25410239

研究課題名(和文)カルコハライド系におけるガラス形成、物性および構造

研究課題名(英文)Glass formation based on the chalcogenide systems and properties and structure of the glasses

研究代表者

角野 広平 (KADONO, KOHEI)

京都工芸繊維大学・材料化学系・教授

研究者番号：00356792

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,900,000円

研究成果の概要(和文)：硫化物とハロゲン化物を混合した硫化ハロゲン化物系でガラス形成を調査し、得られたガラスのガラス転移温度や屈折率、光透過特性などの物性を調査した。GeS₂-Sb₂S₃-CsX系ではCsXは20～30 mol%含有することができた。GeS₂-Sb₂S₃-AgCl系やGa₂S₃-Sb₂S₃-CsCl系では、ある組成域で相分離していることが示唆された。Ga₂S₃-Sb₂S₃-CsXガラスはこれまでの硫化物ガラスに比較して1-2 μm程度赤外吸収端が長波長にシフトしており、新規な赤外透過材料として有用性が示された。

研究成果の概要(英文)：Glass formation was examined for the sulfide and halide-mixed systems, in which the sulfides are GeS₂, Ga₂S₃, Sb₂S₃, and the halides are CsX or AgX (X=Cl, Br, I). The properties, such as glass transition temperature, refractive index, and optical properties, and their dependences on halide content were systematically investigated. The CsX of 20 - 30 mol% were incorporated for the GeS₂-Sb₂S₃-CsX systems. It was suggested that phase separation occurs in the GeS₂-Sb₂S₃-AgCl and Ga₂S₃-Sb₂S₃-CsCl systems. The absorption edge in the infrared region for the Ga₂S₃-Sb₂S₃-CsX glasses shifted to 1 to 2 μm compared with those of the conventional sulfide glasses. This indicated that the glass system has a potential applicability for infrared materials.

研究分野：無機材料化学

キーワード：ガラス 非酸化物ガラス カルコハライドガラス 硫化物ガラス ガラス形成 赤外透過材料 分相
ガラス転移温度

1. 研究開始当初の背景

イオウ、セレン、テルル及びその化合物を主成分とするカルコゲン化物ガラスや、ハロゲン化物(フッ化物、塩化物、臭化物、ヨウ化物)を主成分とするハロゲン化物ガラスは、総称して非酸化物ガラスと呼ばれ、これまで赤外透過材料や希土類イオンのホスト材料等の光学材料としてとして活発に研究がなされてきた。また、カルコゲン化物ガラスは、半導体特性、様々な光誘起現象、光学非線形性など、興味深い物性を有し、活発な研究がなされていることはよく知られている。

一方、近年、カルコゲン化物とハロゲン化物を混合したカルコハライド系ガラスが、第4の非酸化物ガラス系として注目されている。それは、カルコゲン化物にハロゲンを導入することによって、カルコゲン化物単独のガラスに比べ、ガラス形成能(成形性)が改善される場合があること、可視域での光透過性や希土類イオンの溶解性が向上すると期待されるからである。しかし、これまでの研究は、赤外透過材料および希土類イオンのホスト材料への応用のみを目指した研究が中心であり、カルコハライド系での基礎的なガラス形成や物性、構造について、組成と関連づけた系統的な研究はほとんど行われておらず、カルコハライド系ガラスの材料としての特徴や、ガラス構造、ガラス形成におけるカルコゲン化物とハロゲン化物の役割などに関しては明らかになっていない。

2. 研究の目的

本研究では、カルコゲン化物とハロゲン化物を混合したカルコハライド系において系統的なガラス形成の調査を行い、得られたガラスの基礎物性、および構造について調査する。これにより、カルコハライドガラスの基本的な特性を明らかにし、ガラス形成、物性、構造における、カルコゲン化物、ハロゲン化物の役割を明確にする。

具体的には、カルコゲン化物(Ga_2S_3 , GeS_2 , Sb_2S_3)ガラス系にハロゲン化物(CsX , BaX_2 , AgX など ($X = \text{Cl}$, Br , I))を加えた2~3成分系でガラス形成を調査する。得られたガラスについて、基礎物性(ガラス転移温度などの熱的な特性、熱膨張係数、密度、可視・赤外透過特性)を調査する。さらに、ラマン分光による構造解析を行ない、主にハロゲン化物を混合することによって、カルコゲン化物により形成されたガラス網目構造がどのように変化するかについての知見を得る。

また、得られたガラスについてガラス転移温度前後での熱処理を行い、どのような不均質化(結晶化や分相)が誘起されるのかを調べる。さらに、カルコゲン化物ガラスに特徴的な光誘起現象である銀のフォトドーピング現象が、ハロゲン化物を加えることによってどのように影響を受けるかについても調査する。

3. 研究の方法

(1) ガラス形成系の調査

Ga_2S_3 , GeS_2 , Sb_2S_3 から選んだ2種類の硫化物とハロゲン化物(CsX , BaX_2 , AgX ($X = \text{Cl}$, Br , I から1種類)からなる3成分系でガラス形成領域を調査した。カルコゲン化物ガラスの原料(金属とイオウ)およびハロゲン化物を所定量石英ガラスアンブルに真空封入し、揺動炉にて、昇温反応させ、熔融後、空気中に取り出して急冷し、ガラス形成を調査した。ガラス化の判定は、目視およびX線回折により行った。ガラスが得られた場合、密度、熱的性質(ガラス転移温度 T_g 、結晶化温度 T_c など)を調べた。また、一部のガラスについてはラマンスペクトルを測定し、ガラス構造を調査した。

(2) 硫化ハロゲン化物ガラスの光学特性の調査

(1)で得られたガラスについて、1~2 mm程度の厚さになるように成形加工し、両面を光学研磨した後、可視・近赤外域、赤外域で光透過スペクトルを測定した。短波長側、長波長側の透過限界波長とガラス組成との関係を調査した。

(3) 硫化ハロゲン化物ガラスの結晶化挙動の調査

ガラス形成領域を詳細に調査した GeS_2 - Sb_2S_3 - CsCl 系について、以下のような2段階熱処理による結晶化挙動を調査した。まず、ガラスを T_g で6時間熱処理し、その後、 T_g 以上の温度で熱処理を行った。熱処理は真空封緘したシリカガラス管中で行った。結晶化の有無や生成した結晶の同定はX線回折により行った。

(4) 硫化ハロゲン化物ガラスにおけるフォトドーピング挙動の調査

GeS_2 - Sb_2S_3 - CsCl 系ガラスについて、銀のフォトドーピング挙動を調査した。両面を光学研磨した厚さ1 mm程度のガラスを作製し、片面に銀を数十 nmの厚さで蒸着した。蒸着した面側から高圧水銀ランプを照射し、照射時間による可視~近赤外域光透過率の変化を測定した。

4. 研究成果

(1) 硫化ハロゲン化物系におけるガラス形成

図1に GeS_2 - Sb_2S_3 - CsX ($X = \text{Cl}$, I) 系のガラス形成領域(数字は各組成のガラスの T_g)を示す。 GeS_2 - Sb_2S_3 2成分系ガラスに対して、 GeS_2 もしくは Sb_2S_3 を25~30 mol%程度まで CsX で置き換えることが可能であった。図2に、 GeS_2 を CsX で置き換えた $(60-x)\text{GeS}_2 \cdot 40\text{Sb}_2\text{S}_3 \cdot x\text{CsX}$ ガラスにおける CsX 含有量 x に対する T_g の変化を示す。 T_g は CsX 含有量の増加に伴って低下する。これは、 CsX が GeS_4 や SbS_3 で構成されるガラスネットワーク

クに対してガラス修飾剤として作用しているためである。

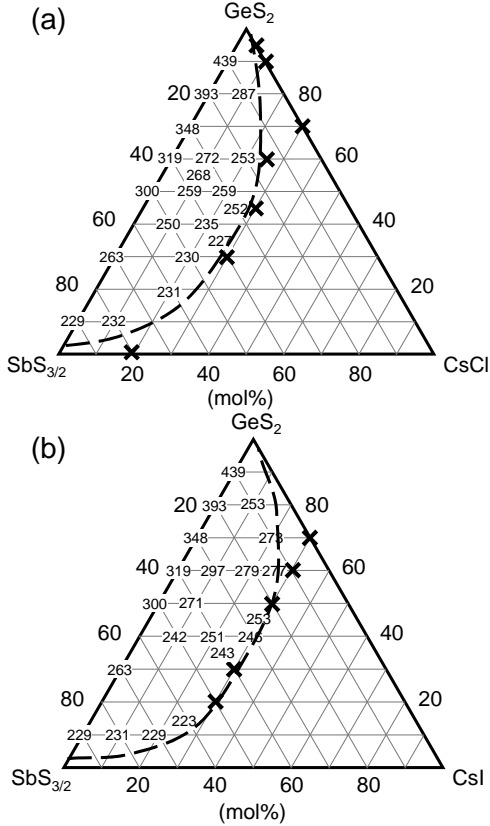


図1 $\text{GeS}_2\text{-Sb}_2\text{S}_3\text{-CsX}$ のガラス形成領域。(a) $\text{X}=\text{Cl}$, (b) $\text{X}=\text{I}$. 数字 (T_g) が書かれている組成でガラス化。

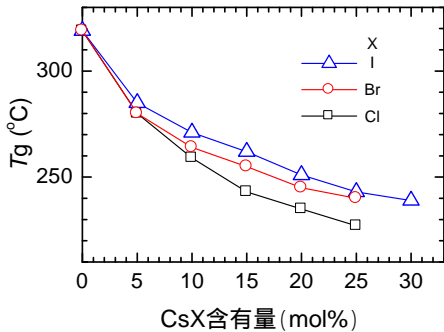


図2 $(60-x)\text{GeS}_2 \cdot 40\text{SbS}_{3/2} \cdot x\text{CsX}$ ガラスにおける CsX 含有量 ($x \text{ mol}\%$) に対するガラス転移温度 (T_g) の変化。

図3に CsX 含有量に対する 633 nm , 980 nm , $1.54 \mu\text{m}$ での屈折率の変化を示す。 GeS_2 を CsX で置き換えると、初めは、どの波長の屈折率も少し高くなるが、ほとんど変化せず、その後低下した。カルコゲン化物ガラスにハロゲン化物を添加すると屈折率は低下する場合が多い。本研究での屈折率の挙動については、次節で、短波長側の吸収端の変化と関連づけて考察する。

図4に $60\text{GeS}_2 \cdot 40\text{SbS}_{3/2}$ ガラス、 $40\text{GeS}_2 \cdot 40\text{SbS}_{3/2} \cdot 20\text{CsX}$ ($\text{X}=\text{Cl}, \text{Br}, \text{I}$) ガラスのラマンスペクトルを示す。これらのラマンスペクトルは、図中に示すような振動モードに帰属されるバンドを用いてピークフィットすることができた。

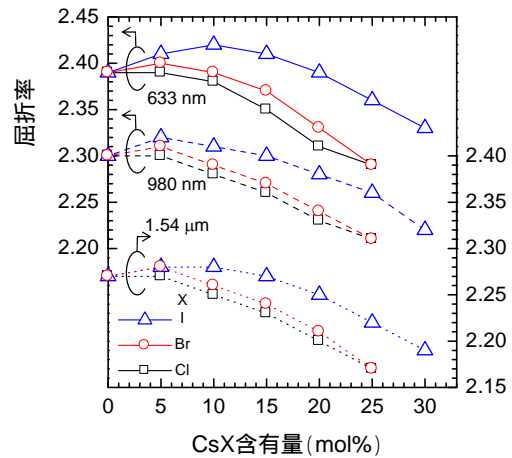


図3 $(60-x)\text{GeS}_2 \cdot 40\text{SbS}_{3/2} \cdot x\text{CsX}$ ガラスにおける CsX 含有量 ($x \text{ mol}\%$) に対する屈折率の変化。

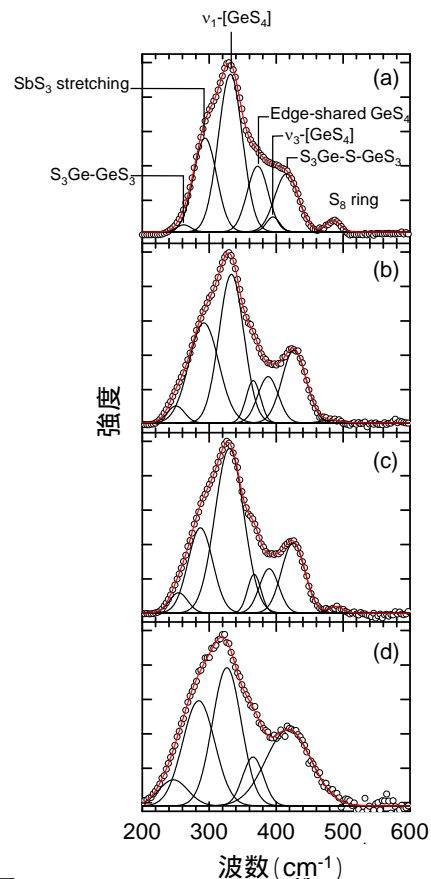


図4 $60\text{GeS}_2 \cdot 40\text{SbS}_{3/2}$ ガラス、 $40\text{GeS}_2 \cdot 40\text{SbS}_{3/2} \cdot 20\text{CsX}$ ($\text{X}=\text{Cl}, \text{Br}, \text{I}$) ガラスのラマンスペクトル。

図5に $\text{GeS}_2\text{-Sb}_2\text{S}_3\text{-AgCl}$ 系のガラス形成を示す。 AgCl は $30 \text{ mol}\%$ 以上導入することができた。 $\text{GeS}_2\text{-Sb}_2\text{S}_3\text{-AgCl}$ 系では図5で示すように、ある組成範囲で、 X 線回折ではガラスであるが、目視では不透明なガラスが得られた。このガラスでは図6に示すように数 μm 程度の不均質な領域が観察され、相分離が起こっていることが示唆された。

図7に $\text{Ga}_2\text{S}_3\text{-Sb}_2\text{S}_3\text{-CsCl}$ 系でのガラス形成領域を示す。 CsCl を $30 \text{ mol}\%$ 程度まで含む組成でガラスが得られた。表2にいくつかのガラスの T_g 、ガラスの熱的な安定性の目安であ

る T_c と T_g の差 ΔT 、屈折率を示す。 ΔT が非常に大きいあるいは、結晶化が見出されないほど熱的に安定なガラスも見出された。 $\text{Ga}_2\text{S}_3\text{-Sb}_2\text{S}_3$ 2成分に CsX などの第3成分を加えたガラス系は今回初めて報告された。このガラスは、次節で述べるように赤外透過限界波長が、 GeS_2 を主要成分とするこれまでの硫化物ガラスに比べ、1~2 μm 程度長波長側にシフトしており、実用的に有用性が高いことが明らかになっている。

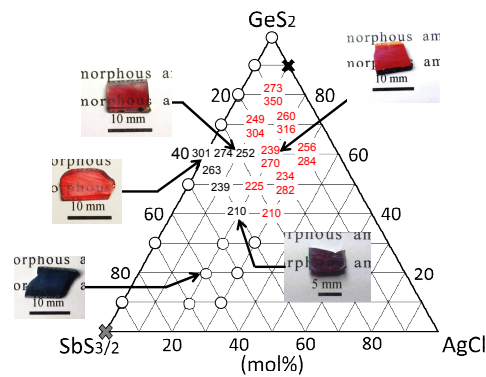


図5 $\text{Ga}_2\text{S}_3\text{-Sb}_2\text{S}_3\text{-AgCl}$ 系でのガラス形成とガラスの写真。数字ガラス転移温度 T_g 。赤で示された組成のガラスは不透明でガラス転移が2回観察されるなど分相していることが示唆された。

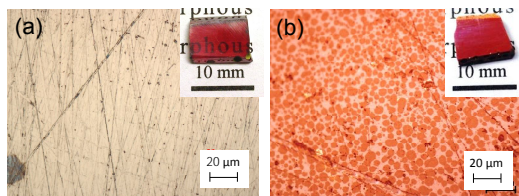


図6 $\text{Ga}_2\text{S}_3\text{-Sb}_2\text{S}_3\text{-AgCl}$ 系ガラスの写真と光学顕微鏡像。(a) $60\text{GeS}_2 \cdot 30\text{Sb}_2\text{S}_3 \cdot 10\text{AgCl}$ (b) $60\text{GeS}_2 \cdot 40\text{Sb}_2\text{S}_3 \cdot 20\text{AgCl}$ 。

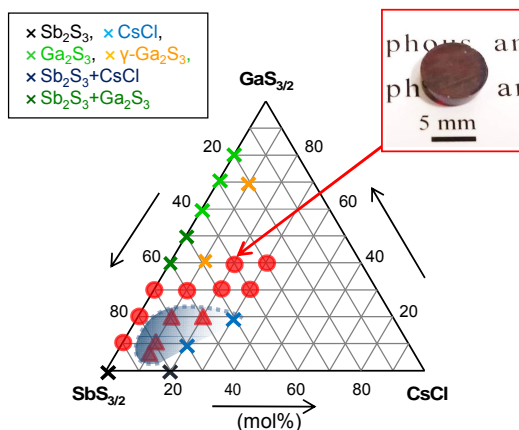


図7 $\text{Ga}_2\text{S}_3\text{-Sb}_2\text{S}_3\text{-CsCl}$ 系でのガラス形成領域。の組成はガラス化、ハッチ(の組成のガラス)では不均質な構造が発現した。

図7に示すように $\text{Ga}_2\text{S}_3\text{-Sb}_2\text{S}_3\text{-CsCl}$ のある組成範囲で、不均質性が発現することが明らかになった(図5の の組成)。光学顕微鏡、

レーザ顕微鏡や走査型電子顕微鏡による観察から、不均質性の原因としてガラス中に1 μm 程度のポイドが観察された。

表1 $\text{Ga}_2\text{S}_3\text{-Sb}_2\text{S}_3\text{-CsCl}$ 系ガラスのガラス転移温度 T_g 、結晶化温度 T_c 、熱的安定性 $\Delta T = T_c - T_g$ 、密度 d 、屈折率(1544 nm) n

組成 (mol%)			T_g	T_c	$\Delta T^{a)}$	d	n
$\text{GaS}_{3/2}$	$\text{SbS}_{3/2}$	CsCl	($^{\circ}\text{C}$)	($^{\circ}\text{C}$)	(K)	(g/cm^3)	
20	80	0	247	381	133	4.08	2.73
20	70	10	240	392	152	3.89	- ^{a)}
20	60	20	243	404	160	3.72	- ^{a)}
30	50	20	248	462	214	3.66	2.23
40	40	20	255	414	159	3.58	2.17
20	70	0	247	401	154	4.16	2.77
20	60	0	245	375	130	4.21	2.80
30	50	0	260	-	>200	4.13	2.74

^{a)}不透明のため測定できなかった。

(2) 硫化ハロゲン化物ガラスの光学特性

図8に $\text{GeS}_2\text{-Sb}_2\text{S}_3\text{-CsCl}$ 系ガラス、 $\text{Ga}_2\text{S}_3\text{-Sb}_2\text{S}_3\text{-CsCl}$ 系ガラスの赤外透過スペクトル、可視透過スペクトルの例を示す。 $\text{GeS}_2\text{-Sb}_2\text{S}_3\text{-CsCl}$ 系ガラスの長波長側吸収端が11 μm 程度であるのに対して $\text{Ga}_2\text{S}_3\text{-Sb}_2\text{S}_3\text{-CsCl}$ 系ガラスでは13 μm 程度と1~2 μm 程度長波長側にシフトしている。これは、前者のガラスでは Ge-O 不純物の伸縮振動によって吸収端が決定されているのに対して、後者では Ga-O の不純物が吸収端を決めているためである。このような長波長側へのシフトは、これらのガラスの赤外透過材料としての有用性を向上させている。

一方、短波長側の吸収端は、 $\text{GeS}_2\text{-Sb}_2\text{S}_3\text{-CsCl}$ 系ガラスの方が、 $\text{Ga}_2\text{S}_3\text{-Sb}_2\text{S}_3\text{-CsCl}$ 系ガラスに比べかなり短波長にシフトしている。これらのガラスのバンドギャップは Sb^{3+} の5sから5pオービタルのエネルギー差によってほぼ決定されると考えると、 Sb の含有量が少ない前者のガラスの方が吸収端が短波長にあることを説明することができる。 $\text{GeS}_2\text{-Sb}_2\text{S}_3\text{-CsCl}$ 系ガラスでは、 GeS_2 を CsX で置き換えると、始め吸収端が大幅に長波長にシフトすることがわかった。これは、 GeS_2 に対して Sb_2S_3 が相対的に増加するためであると考えられる。 $\text{Ga}_2\text{S}_3\text{-Sb}_2\text{S}_3\text{-CsCl}$ 系ガラスでは、 CsCl の増加に伴って、吸収端は短波長側にシフトした。

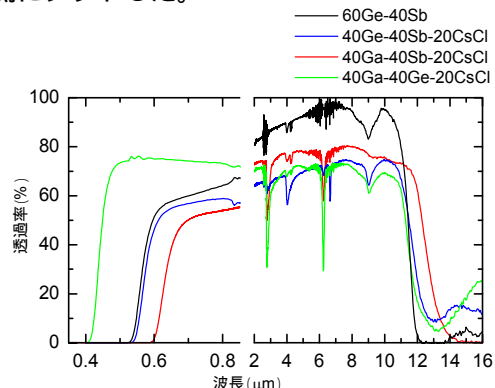


図8 各ガラスの可視~赤外域での光透過スペクトル。

(3) 硫化ハロゲン化物ガラスの結晶化挙動

図9に、 $35\text{GeS}_2 \cdot 40\text{SbS}_{3/2} \cdot 25\text{CsCl}$ ガラスの2段階熱処理による結晶化ガラスのX線回折パターンを示す。主にCsCl結晶の回折線のみが観察された。このガラスでは、導入された過剰のCsClは GeS_4 と SbS_3 によって形成されるガラスネットワークの外に存在しているためであると推察される。

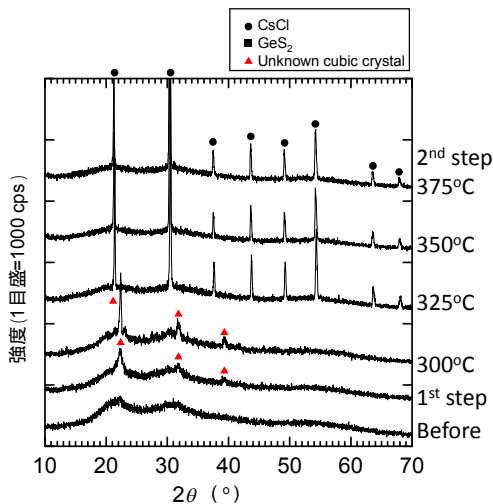


図9 $35\text{GeS}_2 \cdot 40\text{SbS}_{3/2} \cdot 25\text{CsCl}$ ガラスの2段階熱処理による結晶化。

(4) 硫化ハロゲン化物ガラスにおけるフォトドーピング挙動

化学量論組成の $60\text{GeS}_2 \cdot 40\text{SbS}_{3/2}$ (以下60-40と表記) ガラス、これにイオウを過剰に加えた $60\text{GeS}_2 \cdot 40\text{SbS}_{3/2} \cdot 40\text{S}$ (60-40-40S) ガラス、更にCsClを加えた $60\text{GeS}_2 \cdot 40\text{SbS}_{3/2} \cdot 40\text{S} \cdot 10\text{CsCl}$ (60-40-40S-10CsCl) ガラスに対して同じ条件で表面に銀を蒸着し、フォトドーピング挙動を調査した。

図10に60-40-40S-10CsClガラスにおけるフォトドーピング前後のガラスの写真およびフォトドーピング途中での透過スペクトルの変化を示す。銀蒸着直後の800nmでの透過率は8%程度であるが、240min紫外線を照射することによって透過率は28%程度まで上昇し、ガラス中に銀が導入されていることがわかる。銀の導入量は近似的に吸光度の変化で表されることがわかっている。

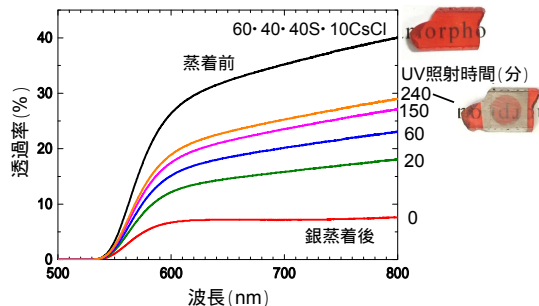


図10 60-40-40S-10CsClガラスのフォトドーピングにおける光透過率の変化。

図11に、上記3種のガラスについて、紫外光照射時間に対する吸光度の変化を示した。60-40-40Sガラスが最も速く吸光度が変

化し、60-40-40S-10CsClガラス、60-40ガラスの順で遅くなった。銀のカルコゲン化物ガラスへのフォトドーピングは、銀とガラスとの光化学的な酸化還元反応と解釈される。従って、還元されるイオンを過剰に含む60-40-40Sガラスが最も速くフォトドーピングが起こる。これにCsClを加えた60-40-40S-10CsClガラスでのフォトドーピングが60-40-40Sガラスに比較して遅いのはガラス中への Ag^+ の拡散が阻害されるためと考えられる。過剰なイオンを含まない60-40ガラスは銀の酸化反応が起こりにくいため最もフォトドーピング反応は遅い。

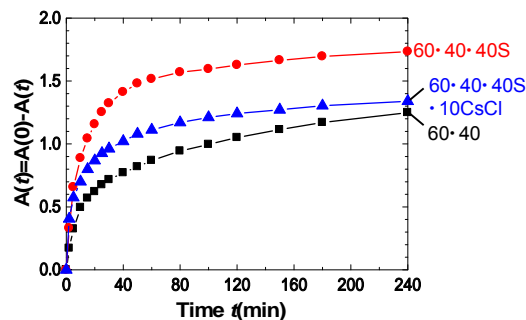


図11 各ガラスのフォトドーピングにおける紫外線照射時間に対する吸光度の変化。

(5) まとめ

硫化物 Ga_2S_3 , GeS_2 , Sb_2S_3 にハロゲン化物 (CsX , AgX など ($\text{X} = \text{Cl}, \text{Br}, \text{I}$)) を加えた2~3成分系でガラス形成を調査し、得られたガラスの基礎的な物性や光学特性、さらに、それらがハロゲン化物の量に対してどのような変化するかを調査した。

ハロゲン化物は概ね20~30 mol%程度含有することが可能であり、 GeS_2 - Sb_2S_3 - CsX 系では、 CsX の導入によって、ガラス転移温度が低下し、屈折率は概ね低下した。また短波長側吸収端も概ねブルーシフトしたが、 GeS_2 を CsX で置き換えた場合、はじめの段階ではレッドシフトした。 Ga_2S_3 - Sb_2S_3 - CsCl 系ガラスや GeS_2 - Sb_2S_3 - AgCl 系ガラスではある組成範囲で、ガラス状態であるにもかかわらず不透明となり相分離していることが示唆された。 GeS_2 - Sb_2S_3 - CsX 系ガラスについて、ラマン分光による構造解析や、熱処理による結晶化挙動、銀のフォトドーピング挙動も調査した。 Ga_2S_3 - Sb_2S_3 - CsX 系ガラスにおいて、これまでの硫化物ガラスに比べて1~2 μm程度赤外透過限界波長が長波長側にシフトしており、新規な赤外透過材料としての有用性が示された。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計2件)

K. Kuroda, K. Okumura, R. Fujiwara, T. Wakasugi, and K. Kadono, Glass formation,

properties, and structure of the glasses based on $\text{GeS}_2\text{-Sb}_2\text{S}_3\text{-CsX}$ ($X = \text{Cl, Br, I}$), *Physics and Chemistry of Glasses: European Journal of Glass Science and Technology Part B* (査読有) 印刷中
T. Ashida, T. Wakasugi, A. Okada, and K. Kadono, Glass formation and properties of the glasses based on As- and Ge-free sulfide systems for infrared transmitting materials, *Chem. Lett.*, (査読有)45 (1), 63-65 (2016). 10.1246/cl.150900

[学会発表](計15件)

木全政樹、岡田有史、若杉隆、角野広平、藤本靖、 $\text{Ga}_2\text{S}_3\text{-GeS}_2\text{-CsCl}$ 系ガラスにおける Er^{3+} ドープイオンの発光寿命と量子効率日本セラミックス協会 2016 年年会 2016.3.16 早稲田大学 東京

芦田知世、岡田有史、若杉隆、角野広平、 $\text{Ga}_2\text{S}_3\text{-Sb}_2\text{S}_3\text{-MX}$ ($M=\text{Ag, Cs, X=Halogen}$)系ガラスの作製と光透過性に及ぼすガラス組成の影響、日本セラミックス協会 2016 年年会 2016.3.16 早稲田大学 東京

細谷華世、岡田有史、若杉隆、角野広平、バルク Ge-Sb-S 系ガラスにおける銀のフォトリソニング、日本セラミックス協会 2016 年年会 2016.3.16 早稲田大学 東京

木全政樹、岡田有史、若杉隆、角野広平、藤本靖、 Er^{3+} ドープ $\text{Ga}_2\text{S}_3\text{-GeS}_2\text{-CsCl}$ 系ガラスにおける発光特性に及ぼすガラス組成及び Er^{3+} 濃度の影響、日本セラミックス協会第 54 回セラミックス基礎科学討論会 2016.1.7 佐賀アバンセグランドはがくれ 佐賀市

K. Kadono, K. Okumura, K. Kuroda, A. Okada, T. Wakasugi, Glass formation and crystallization behaviors in the systems based on $\text{GeS}_2\text{-Sb}_2\text{S}_3\text{-CsX}$ ($X=\text{Cl, Br, and I}$), 国際ガラス会 ICG Annual Meeting, Bangkok 2015 2015.9.22 バンコク タイ

芦田知世、岡田有史、若杉隆、角野広平、 $\text{Ga}_2\text{S}_3\text{-Sb}_2\text{S}_3\text{+A}$ ($A=\text{CsCl, SnS}$)系ガラスの作製と物性、日本セラミックス協会第 28 回秋季シンポジウム 2015.9.17 富山大学 富山

木全政樹、岡田有史、若杉隆、角野広平、藤本靖、 Er^{3+} ドープ $\text{Ga}_2\text{S}_3\text{-GeS}_2\text{-CsCl}$ 系ガラスの作製と発光特性、日本セラミックス協会第 28 回秋季シンポジウム 2015.9.17 富山大学 富山

K. Kadono, K. Okumura, K. Kuroda, T. Ashida, M. Kimata, A. Okada, and T. Wakasugi, Glass formation based on halosulfide systems for infrared-transmitting materials, 日本セラミックス協会ガラス部会 The 1st Workshop on Advanced Glasses with New Functionalities 2015.8.5 愛媛大学 松山

芦田知世、岡田有史、若杉隆、角野広平、 $\text{Ga}_2\text{S}_3\text{-Sb}_2\text{S}_3\text{-CsCl}$ 系ガラスの作製と光透

過特性、日本セラミックス協会第 10 回関西支部学術講演会 2015.7.24 京都大学 宇治市

木全政樹、岡田有史、若杉隆、角野広平、藤本靖、 $\text{Ga}_2\text{S}_3\text{-GeS}_2\text{-CsCl}$ 系ガラスの作製および物性の調査、日本セラミックス協会第 10 回関西支部学術講演会 2015.7.24 京都大学 宇治市

奥村佳祐、若杉隆、岡田有史、角野広平、 $\text{GeS}_2\text{-Sb}_2\text{S}_3\text{-CsCl}$ 系ガラスにおける結晶化挙動および機械的強度への影響、日本セラミックス協会第 52 回基礎科学討論会 2015.1.8 京都テルサ、京都市

奥村佳祐、若杉隆、岡田有史、角野広平、 $\text{GeS}_2\text{-Sb}_2\text{S}_3(-\text{CsCl})$ 系ガラスの結晶化 - 添加物の影響 -、日本セラミックス協会第 27 回秋季シンポジウム 2014.9.9 鹿児島大学 鹿児島

奥村佳祐、河原裕佑、若杉隆、角野広平、 $\text{GeS}_2\text{-Sb}_2\text{S}_3\text{-MX}_n$ ($M=\text{Cs, Ag, Ba; X=Cl, I; n=1, 2}$) ガラスの作製と物性、日本セラミックス協会 2014 年年会 2014.3.17 慶應義塾大学 横浜

奥村佳祐、黒田邦義、若杉隆、角野広平、 $\text{GeS}_2\text{-Sb}_2\text{S}_3\text{-CsCl}$ 系ガラスおよび結晶化ガラスの作製と結晶化挙動、日本セラミックス協会第 54 回ガラスおよびフォトリソ材料討論会 2013.11.21 産総研関西センター 池田市 大阪

奥村佳祐、黒田邦義、若杉隆、角野広平、 $\text{GeS}_2\text{-Sb}_2\text{S}_3\text{-CsCl}$ 系でのガラス化領域と結晶化、日本セラミックス協会第 8 回関西支部学術講演会 2013.7.26 龍谷大学 大津市

[産業財産権]

出願状況(計1件)

名称：モールド成型に適した赤外線透過ガラス

発明者：角野広平、岡田有史、若杉隆、芦田知世

権利者：京都工芸繊維大学

種類：特許

番号：特願 2015-072911

出願年月日：2015年3月31日

国内外の別：国内

6. 研究組織

(1)研究代表者

角野 広平 (KADONO KOHEI)

京都工芸繊維大学・材料化学系・教授

研究者番号：00356792

(2)研究分担者

若杉 隆 (WAKASUGI TAKASHI)

京都工芸繊維大学・材料化学系・教授

研究者番号：40222400