

$(\text{Bi}_2\text{O}_3)_{0.85} \cdot (\text{Nb}_2\text{O}_5)_{0.15} - 6 \text{Bi}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$ 계 복합다결정체의 미세구조와 광학적 특성

김호건

한양대학교 화학과

(1989년 1월 24일 접수)

Microstructures and Optical Properties of Composite Crystals  
in the System  $(\text{Bi}_2\text{O}_3)_{0.85} \cdot (\text{Nb}_2\text{O}_5)_{0.15} - 6 \text{Bi}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$

Ho-Kun Kim

Department of Chemistry, Hanyang University

(Received January 24, 1989)

요 약

$(\text{Bi}_2\text{O}_3)_{0.85} \cdot (\text{Nb}_2\text{O}_5)_{0.15} - 6 \text{Bi}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$ 계의 공정조성 용액을  $100^\circ\text{C}/\text{cm}$ 의 온도구배하에서  $0.5 \text{ mm/h}$ 의 응고속도로 일방향 응고시켰다. 균일한 미세구조의 복합다결정체를 얻기 위하여 2중도가니를 사용하고, seed 결정으로서  $\gamma - 6 \text{Bi}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$  단결정으로 이루어진 결정판을 이용하였다. 그 결과, 침상의  $\delta - (\text{Bi}_2\text{O}_3)_{0.85} \cdot (\text{Nb}_2\text{O}_5)_{0.15}$  결정이  $\gamma - 6 \text{Bi}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$  단결정 matrix 중에 평행하게 규칙적으로 배열된 복합다결정체가 얻어졌고 이의 미세구조는 전체적으로 균일하였다. 복합다결정체의 X선 회절분석결과  $\delta - (\text{Bi}_2\text{O}_3)_{0.85} \cdot (\text{Nb}_2\text{O}_5)_{0.15}$  결정은  $\langle 110 \rangle$  방향을,  $\gamma - 6 \text{Bi}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$  결정은  $\langle 111 \rangle$  방향을 응고진행방향에 평행하게 하여 성장하였음이 확인되었다. 복합다결정체의 응고진행방향에 수직인 판상시료는 고분해능의 화상전송기능을 나타내어 화상전송소자로서의 응용 가능성을 보였다. 또한 cabochon 형으로 연마한 시료에서는 선명한 변채효과가 관찰되어 이복합다결정체를 인공의 cat's eye 로 이용할 수 있음을 확인하였다.

ABSTRACT

An eutectic melt in the system  $(\text{Bi}_2\text{O}_3)_{0.85} \cdot (\text{Nb}_2\text{O}_5)_{0.15} - 6 \text{Bi}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$  was unidirectionally solidified at a rate of  $0.5 \text{ mm/h}$  under a thermal gradient of  $100^\circ\text{C}/\text{cm}$ . Double crucibles and seed crystal plate were used in order to obtain the composite crystals which had uniform microstructure throughout the ingot. The obtained composite crystals showed uniform microstructure, in which needle-like  $\delta - (\text{Bi}_2\text{O}_3)_{0.85} \cdot (\text{Nb}_2\text{O}_5)_{0.15}$  crystals were arrayed in parallel in a matrix of  $\gamma - 6 \text{Bi}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$  single crystal. It was found that the  $\langle 110 \rangle$  direction of  $\delta - (\text{Bi}_2\text{O}_3)_{0.85} \cdot (\text{Nb}_2\text{O}_5)_{0.15}$  crystal was essentially parallel to the  $\langle 111 \rangle$  direction of  $\gamma - 6 \text{Bi}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$  crystal in the composite crystals. A transverse thin plate of the composite crystals showed a high resolution optical transmission like an optical fiber array, and sharp chatoyancy was observed in the cabochon shaped composite crystals. Then, this may be useful for applications such as screen of a cathode ray tube or artificial cat's eye gem stones.

1. 서 론

저자는  $(\text{Bi}_2\text{O}_3)_{0.85}(\text{Nb}_2\text{O}_5)_{0.15}-6\text{Bi}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$ 계의 공정 조성(eutectic point) 부근의 용액을 온도구배하에서 일방향응고(unidirectional solidification)시키면,  $\gamma-6\text{Bi}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$  결정의 matrix 중에 가는 침상의  $\delta-(\text{Bi}_2\text{O}_3)_{0.85}(\text{Nb}_2\text{O}_5)_{0.15}$  결정이 평행하게 규칙적으로 배열된 구조의 복합다결정체를 제조할 수 있다는 것을 밝혔다.<sup>1)</sup> 이 방법에서도 도가니는 백금도가니 하나를 사용하고 seed 결정으로서는  $\gamma-6\text{Bi}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$  결정과  $\delta-(\text{Bi}_2\text{O}_3)_{0.85}(\text{Nb}_2\text{O}_5)_{0.15}$  결정의 미세한 혼합분말을 이용하였다(이하 이 방법을 단일도가니법이라고 한다). 이 복합다결정체에서 침상결정의 골절율이 matrix 결정보다 높기 때문에 이 복합다결정체의 구조는 다수의 clad형 광섬유를 평행하게 등간적으로 묶어 놓은 것과 같다고 할 수 있다. 따라서 이 복합다결정체는 화상전송기능 및 고분해능의 화상표시기능을 나타낼 것이 예상되고 이 기능을 이용한 각종의 광기능소자로서의 응용이 기대된다. 그러나 이 복합다결정체의 미세구조에서, matrix 결정은 단결정이 아니고 결정학적방향이 각각 다른 주상결정(columnar crystal)의 집합체이기 때문에 주상결정중에 석출한 침상결정의 방향도 주상결정에 따라 조금씩 다르며 복합다결정체 전체에 걸쳐서 균일하지 않았다. 이 복합다결정체를 전술한 광기능소자로서 응용하려면 침상결정의 배열이 전체에 걸쳐서 균일하게 평행한 복합다결정체를 제조할 필요가 있다.

본 연구에서는 seed 결정으로서  $\gamma-6\text{Bi}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$  결정이 단결정이며 이 결정중에 침상의  $\delta-(\text{Bi}_2\text{O}_3)_{0.85}(\text{Nb}_2\text{O}_5)_{0.15}$  결정이 평행하게 배열된 복합다결정체의 소편을 이용하고, 도가니를 2중으로 하는 방법에 의하여 침상결정의 배열이 전체에 걸쳐서 평행하고 규칙적인 복합다결정체를 제조하고자 하였다.

2. 실험방법

실험할 용액의 조성은  $(\text{Bi}_2\text{O}_3)_{0.85}(\text{Nb}_2\text{O}_5)_{0.15}-6\text{Bi}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$ 계의 공정조성, 즉  $56.2[(\text{Bi}_2\text{O}_3)_{0.85}(\text{Nb}_2\text{O}_5)_{0.15}] \cdot 43.8(6\text{Bi}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2)$  (mol%)을 택하였다.

Seed 결정으로서, 위의 공정조성 용액을 단일도가니법으로 일방향응고하여 얻어진 복합다결정체로부터  $\gamma-6\text{Bi}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$  결정이 단결정이며 이 결정중에 침상의  $\delta-(\text{Bi}_2\text{O}_3)_{0.85}(\text{Nb}_2\text{O}_5)_{0.15}$  결정이 평행하게 배열된 부분을 잘

라내어  $3 \times 3 \times 2\text{mm}$ 크기의 판상(plate)시료를 여러개 만들고, 판면의 결정학적면을 X-ray에 의하여 조사하여  $\gamma-6\text{Bi}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$  결정면이 (111)면인 시료를 사용하였다. 이 seed 결정을 Fig.1에 나타내는 2중도가니의 밀면 중앙에 놓아서  $\delta-(\text{Bi}_2\text{O}_3)_{0.85}(\text{Nb}_2\text{O}_5)_{0.15}$  결정의 배열이 도가니 밀면에 수직이 되도록 하였다. 2중도가니는 밀면의 직경 30 mm, 구경 60 mm, 높이 35 mm 인 백금도가니를 2개 포개어 놓은 것이고 윗쪽 도가니의 밀면 중앙에는 직경 약 0.1 mm의 pin hole을 하나 뚫어 놓았다. 도가니중의 다른 부분은 공정조성에 해당하는  $\gamma-6\text{Bi}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$  결정과  $\delta-(\text{Bi}_2\text{O}_3)_{0.85}(\text{Nb}_2\text{O}_5)_{0.15}$  결정의 혼합분말을 채웠다. 이 혼합분말은 공정조성에 해당하는 시약(순도 99.9% 이상)  $\text{Bi}_2\text{O}_3$ ,  $\text{SiO}_2$  및  $\text{Nb}_2\text{O}_5$ 를 혼합하고 백금도가니에 넣어서  $850^\circ\text{C}$ 에서 10 시간 소결시킨 뒤 망상하고 이를 200 mesh 이하의 입도로 분쇄하여 제조하였다. 이 2중도가니를 Fig.2에 나타내는 온도구배전기로에 넣고 도가니의 밀부분을 수냉시키면서 윗부분을  $1180^\circ\text{C}$ 로 가열하였다. 그 결과 도가니중의 원료분말과 seed 결정은 도가니 밀면에서 높이 약 1 mm의 부분만 남기고 나머지는 전부 녹았다. 이 상태로 5 시간 유지한 뒤 전기로의 온도를  $5^\circ\text{C}/\text{h}$ 의 속도로 하강시켜서, 용액을  $100^\circ\text{C}/\text{cm}$ 의 온도구배하에서  $0.5\text{mm}/\text{h}$ 의 응고속도로 밀에서 위로 일방향응고시켰다. 이때의 온도구배 및 응고속도는 단일도가니법<sup>1)</sup>의 경우와 같은 방법으로 계산하였다.

용액의 일방향응고 결과 윗쪽 도가니중에 형성된 복합

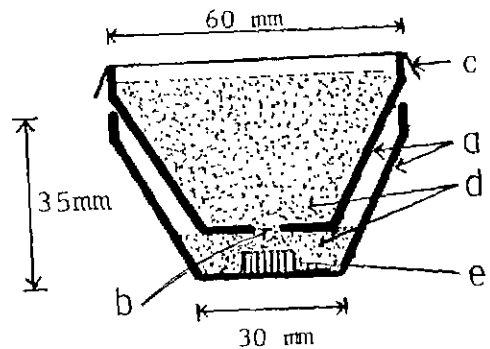
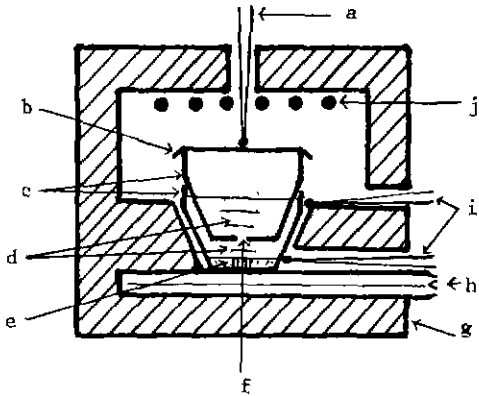


Fig. 1. Double crucibles used for unidirectional solidification.  
 a : Pt crucible, b : Pin hole, c : Pt lid  
 d : Crystal powder ( $\gamma + \delta$ ), e : Seed crystal  
 (lines perpendicular to the bottom indicate needle-like  $\delta$  crystal)

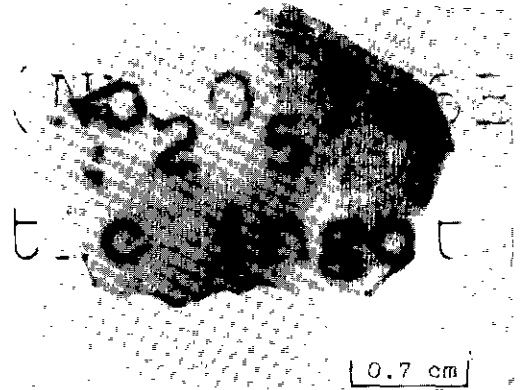


**Fig. 2.** Temperature-gradient furnace.  
 a : Thermocouple, b : Pt lid, c : Pt crucible,  
 d : Melt, e : Seed, f : Pin hole, g : Refractory  
 h : Water-cooled copper jacket, i : Thermocouple  
 j : SiC heating element

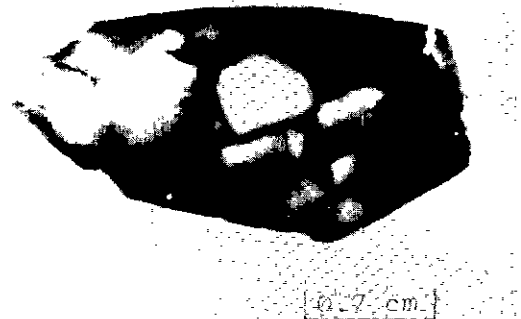
다결정체에 대하여 침상결정의 배열상태 및 결정학적 배향성을 조사하고 이 결과를 단일도가니법의 경우와 비교하였다. 또한 이 복합다결정체의 광학적 특성을 알아보기 위하여 화상전송기능 및 변채효과(Chatoyancy)를 조사하였다.

### 3. 실험결과와 고찰

실험결과 얻어진 복합다결정체를 응고진행방향에 수직으로 잘라내어 만든 판상시료(두께 0.2 mm)의 사진을 Fig. 3(A)에 나타내었다. Fig. 3(B)에는 단일도가니법에 의하여 같은 응고조건에서 얻어진 복합다결정체에 대한 사진도 같이 나타내었다. Fig. 3으로부터, 단일도가니법에 의하여 제조된 복합다결정체는 투명도가 각각 다른 몇 개의 소영역(cell)으로 이루어져 있는 반면, 2중도가니법에 의하여 얻어진 복합다결정체는 전체적으로 거의 균일한 투명성을 나타내는 것을 알 수 있다. 이들 판상시료는  $\gamma - 6 \text{Bi}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$  결정(이하  $\gamma$  결정이라고 부름) matrix 중에 침상의  $\delta - (\text{Bi}_2\text{O}_3)_{0.85}(\text{Nb}_2\text{O}_5)_{0.15}$  결정(이하  $\delta$  결정이라고 부름)이 배열되는 구조를 가지며, 밑으로부터 빛이 투과되어 판상시료가 투명하게 보이기 위하여는 침상의  $\delta$  결정이 판면에 수직하게 배열될 필요가 있다. 따라서 단일도가니법에 의하여 작성된 시료는 침상의  $\delta$  결정이 소영역마다 그 배열이 다르고  $\delta$  결정이 응고진행방향에 평행(판상



(A)



(B)

**Fig. 3.** Transverse sections 0.2 mm thick of solidified ingot.

(A) : Solidified by using double crucibles  
 (B) : Solidified by using single crucible

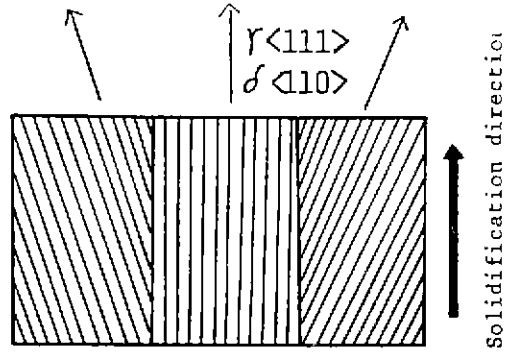
시료의 판면에 수직)하게 배열된 부분만 투명하게 보이며, 2중도가니법에 의하여 작성된 시료는  $\delta$  결정의 배열이 시료전체에 걸쳐서 응고진행방향에 평행하기 때문에 균일한 투명성을 보이는 것으로 추정된다.

이를 확인하기 위하여 우선 단일도가니법에 의하여 얻어진 복합다결정체중의 결정의 배향성을 X선 회절법에 의하여 조사하여 Table 1 과 같은 결과를 얻었다. 이 실험에서는 Fig. 3(B)에 나타낸 판상시료중의 각 소영역 별로 결정의 배향성을 조사하기 위하여 조사하려는 한 소영역 이외의 부분은 은(Ag) 페인트로 masking 하는 방법을 취하였다. Table 1 에는 임의로 번호를 붙인 12 개의 소영역에 대하여 확인된  $\delta$  결정과  $\gamma$  결정의 결정면을 나타내며

**Table 1.** Crystallographic Plane Detected by X-ray Diffraction on a Transverse Section of Ingot which was Obtained by Using Single Crucible.

Domain No.	$\gamma$ -6 Bi <sub>2</sub> O <sub>3</sub> · SiO <sub>2</sub>	$\delta$ -Bi <sub>2</sub> O <sub>3</sub> · (Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	Transparency
1	(111)	(110)	Good
2	(111)	(110)	Good
3	(211)	(531)	Poor
4	(221)	(331)	Poor
5	(310)	(100)	Poor
6	(310)	(100)	Poor
7	(310)	(100)	Poor
8	(310)	(100)	Poor
9	(310)	(100)	Poor
10	(321)	(221)	Poor
11	(521)	(211)	Poor
12	(532)	(210)	Poor

각 소영역에 대한 투명성을 표시하였다. Table 1로부터 우선 소영역마다 검출되는 결정면이 전부 같지않기 때문에 각 소영역에 있어서의 결정의 배향이 다른 것을 알 수 있다. 투명성이 좋은 소영역에 있어서는  $\gamma$ 결정의 (111)면과  $\delta$ 결정의 (110)면이 검출되었다.  $\gamma$ 결정과  $\delta$ 결정은 모두 입방정계에<sup>2)</sup> 속하는 결정이므로 이 결과로부터  $\gamma$ 결정이  $\langle 111 \rangle$ 방향률,  $\delta$ 결정이  $\langle 110 \rangle$ 방향률 을 응고진행방향에 평행하게하여 성장했음을 알 수 있다.  $\gamma$ 결정과  $\delta$ 결정이 이와같은 방향관계를 가지는 것은 두 결정간의 접촉면의 계면에너지를 최소화 하기 위한 것으로 생각된다.<sup>3)</sup> 즉 공정이론에 의하면, 두 종류의 결정이 동시에 성장할 경우 이들 결정은 일정한 결정학적 방향관계를 유지하면서 성장하는데, 본 실험의 경우  $\gamma$ 결정과  $\delta$ 결정간에는  $\langle 111 \rangle_{\gamma} // \langle 110 \rangle_{\delta}$ 인 방향관계가 항상 유지된다. 불투명한 소영역에 있어서는  $\gamma$ 결정의 (111)면이 검출되지 않는 것으로 보아  $\gamma$ 결정은  $\langle 111 \rangle$ 방향 이외의 방향으로 성장하였고  $\langle 111 \rangle$ 방향은 응고진행방향에 일정한 각도로 기울어져 있음을 알 수 있다. 따라서  $\delta$ 결정도 상기한 방향관계를 유지하기 위하여  $\langle 110 \rangle$ 방향이 응고진행방향에 일정한 각도 기울어져서 성장하며, 이는 Table 1에서  $\delta$ 결정의 (110)면이 검출되지 않는 것으로 부터 추정할 수 있다. 각 소영역에 있어서  $\gamma$ 결정과  $\delta$ 결정간에 일정한 방향관계가 유지되는 것은, 각 영역에서 검출된  $\gamma$ 결정의 면이 (111)면과 이루는 각도와 검출된  $\delta$ 결정의 면이 (110)면과 이루는 각도가 거의 같다는 것으로 확인할 수 있다.



**Fig. 4.** Schematic diagram showing the orientation of  $\delta$  and  $\gamma$  crystals in the composite crystals obtained by using single crucible. Lines along the solidification direction indicate needle-like  $\delta$  crystals.

예를 들면 영역 3에서 검출된  $\gamma$ 결정의 (211)면이 (111)면과 이루는 각도는 19.5°이고, 이 영역에서 검출된  $\delta$ 상의 (531)면이 (110)면과 이루는 각도는 17°로서 거의 같다. 또한 5-9에 있어서도  $\gamma$ 결정의 (310)면이 (111)면과 이루는 각도는 43.1°이고  $\delta$ 결정의 (100)면이 (110)면과 이루는 각도는 45°로서 거의 같다. Fig. 4에  $\delta$ 결정과  $\gamma$ 결정간의 방향관계를 모식적으로 나타내었다. Table 1에 나타낸 것과 같이  $\gamma$ 결정이 여러방향으로 성장한 것은, 단일도가니법에서는 미세한 분말결정을 seed 결정으로 사용하였기 때문이다. 즉, 미세한  $\gamma$ 결정의 분말을 seed 결정으로 사용할 경우, seed 결정중에는 여러가지 결정학적 방향을 가지는 미결정들이 존재하고 이들로부터 성장하는 주상결정도 여러가지 결정학적방향을 가지게 된다.<sup>4)</sup> 따라서 Fig. 3(A)에 보이는 각 소영역은 성장한  $\gamma$ 주상결정중의 하나에 해당한다.

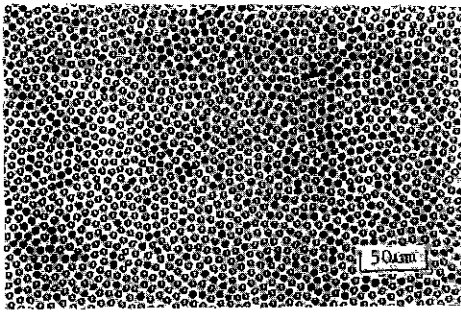
한편 2중도가니법에 의하여 얻어진 복합다결정체의 경우는 판상시료(Fig. 3(A))에 대한 X선 회절분석결과  $\gamma$ 결정의 (111)면과  $\delta$ 결정의 (110)면만 검출되어, 시료 전체에 걸쳐서  $\gamma$ 결정은  $\langle 111 \rangle$ 방향률,  $\delta$ 결정은  $\langle 110 \rangle$ 방향률, 응고진행방향에 평행하게 하여 성장한 것이 확인되었다. 이와같이  $\gamma$ 결정이 시료전체에 걸쳐서  $\langle 111 \rangle$ 방향으로 성장한 것은 Fig. 2에 나타낸 바와 같이 seed 결정으로서,  $\gamma$ 결정의 (111)면을 판면으로 가지는 단결정 판상시료를 사용하였기 때문에, 이 seed 결정이 pin hole을 통과하여 윗쪽 도가니중에서 단결정으로 계속 성장하였기

때문이다. 2중도가니법에 의하여 왼쪽 도가니중에 단결정이 형성되는 것은 이미 합치용융조성(congruent melting composition)인  $6\text{Bi}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$  조성에 대하여 확인된 바 있다.<sup>5)</sup>  $\delta$  결정이 시료전체에 걸쳐서 <110> 방향으로 성장한 것은 전술한 바와같이  $\gamma$  결정과의 일정한 방향관계를 유지하기 위한 것이다.

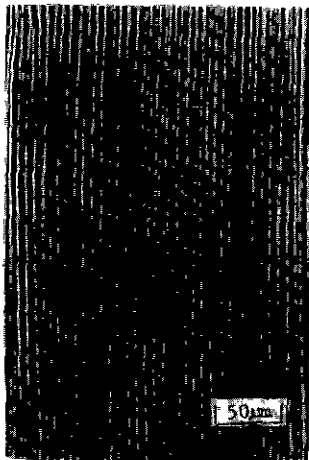
2중도가니를 이용하여 얻은 복합다결정체의 응고진행 방향에 수직 및 평행한 박편(thin plate)의 광학현미경사진을 Fig.5에 나타내었다. Fig.5로부터  $\delta$  결정은 약  $3.8 \mu\text{m}$ 의 직경을 가지며 약  $10 \mu\text{m}$  간격(중심간 거리)으로  $\gamma$  결정 중에 평행하게 규칙적으로 배열되어 있는 것을 알 수 있다. 이  $\delta$  결정의 직경 및 간격은 단일 도가니법의 경우 각 소영역에서 구한 것과 거의 같은 값이다. 2중도가니법의 경우는  $\delta$  결정의 배열이 각 소영역에 따라 다르지 않고

시료전체에 걸쳐서 응고진행방향에 평행한 것이 다르다.

$\delta$  결정은  $\gamma$  결정보다 굴절률이 높기 때문에 Fig.5에 나타낸 것과 같은 미세구조를 가지는 복합다결정체는 clad형의 광 fiber를 matrix 중에 묶어 놓은 것과 같이, 한 면에 있는 화상(image)을 다른 면으로 전송하는 기능을 가질 것으로 예상된다. 2중도가니법에 의하여 얻어진 복합다결정체를 응고진행방향에 수직인 방향으로 잘라서 만든 박편시편(Fig 3(A))를 이용하여 화상전송기능을 조사한 결과를 Fig.6에 나타내었다. Fig.6(A)는 IC용 photomask의 광학현미경사진이고 Fig.6(B)는 photomask 위에 박편시료를 놓고 박편시료를 통해서 본 photomask의 사진이다. Fig.6에서 photomask의 상이 박편시료를 통하여 그대로 전송됨을 알 수 있다. 이 결과로부터 이 복합다결정체는 Fig.7에 나타낸 것과 같은 음극선관의 고분해능



(A)



(B)

Fig.5. Microstructures of the composite crystals obtained by using double crucibles.

(A): Transverse section  
(B): Longitudinal section

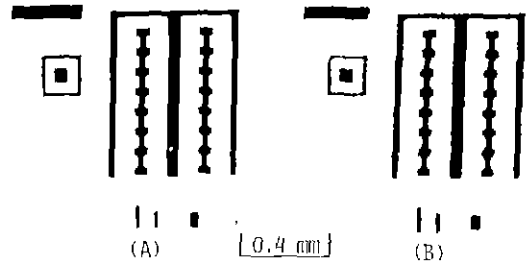


Fig.6. Optical micrograph of IC photomask (A) and its image (B) observed through a transverse section 0.5 mm thick of composite crystals.

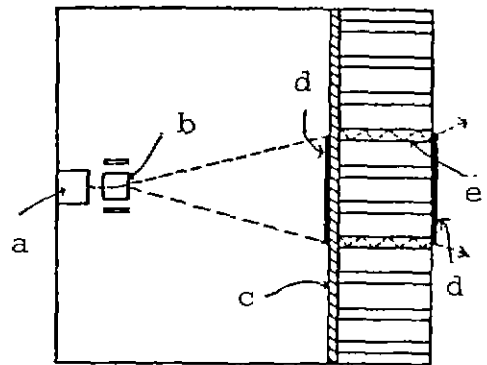


Fig.7. Transmission of an image through the composite crystals in the cathod ray tube.

a: Electron beam source, b: Charged capacitor, c: Fluorescent coating, d: image, e: Needle-like crystal

화상전송관으로 이용될 것이 기대된다.

복합다결정체가 Fig.5에 나타낸 것과 같은 미세구조를 가질 경우 복합다결정체의 표면을 둥글게 연마하여 cabochon 형 시료를 만들면 침상결정에 의한 빛의 규칙적인 반사 및 굴절로 인하여 천연보석 cat's eye에서 보이는 것과 같은 변채효과(Chatoyancy)가 나타날 것이 기대된다. Fig.8은 2중도가니법에 의하여 얻어진 복합다결정체를 cabochon 형 시료로 만드는 방법을 나타낸 것이다. 이와같이 하여 만든 cabochon 형 시료를 백색광원하에서 관찰한 사진을 Fig.9에 나타내었다. Fig.9에서 시료 왼쪽에 보이는 둥근반점은 조명광의 반사에 의한 것이며 장축방향에 뻗어있는 하얀선이 변채효과에 의한 것이다. Fig.9에서 보는 바와같이 이 시료는 선명한 변채효과를 나타내었고 시료의 색깔이 천연 cat's eye와 같은 황색이

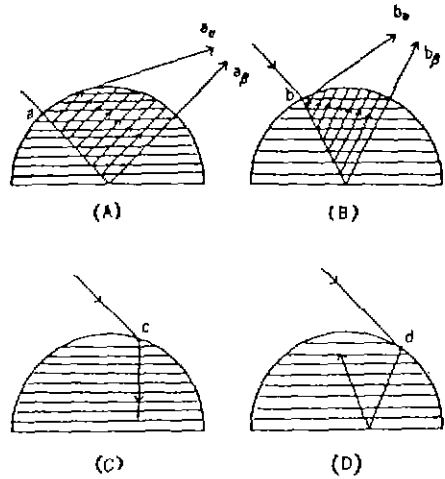


Fig.10. Origin of the chatoyancy.

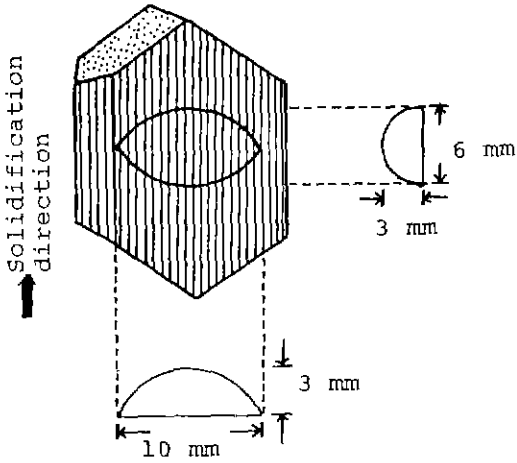


Fig.8. Cabochon cutting of the ingot.

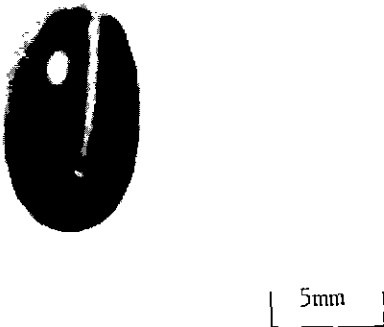


Fig.9. Chatoyancy of the cabochon shaped sample.

므로 이를 인공보석 cat's eye로서 사용할 수 있을 것으로 기대된다. 이러한 구조의 복합다결정체에서 변채효과가 나타나는 것은 다음과 같이 설명할 수 있다.<sup>5)</sup>

Fig.10은 Fig.8에 나타낸 cabochon 시료의 단축방향 단면과 빛이 그 단면을 통과하는 과정을 그린 것이고 시료밀면에 평행한 직선은 침상결정을 나타낸다. Fig.8(A)의 a점에서 입사된 빛은 시료중의 많은 침상결정에 의하여 반사되어 시료의 오른쪽 표면으로 나온다. 이때 시료 표면에 가까운 침상결정에서 반사된 빛은  $a_\alpha$  방향으로, 시료밀면에 가까운 침상결정에서 반사된 빛은  $a_\beta$  방향으로 나오게 되어 빛이 집중된다. 따라서  $a_\alpha - a_\beta$ 선 사이에 a점에서 입사된 빛에 의한 변채가 관찰된다. Fig.8(B)의 b점에 입사된 빛에 의하여도 변채가 나타나지만 이 경우에는 변채가 관찰되는 범위가  $b_\alpha - b_\beta$ 선 사이에 있어서 Fig.8(A)의 위치와는 달라진다. Fig.8(C), (D)의 c, d점에 입사된 빛은 입사된 방향으로 반사되므로 변채에 기여하지 않는다. Cabochon 시료의 단축방향의 단면에서는 곡률반경이 작기때문에 빛의 진로변화가 매우 크고 빛이 한 점에서 잘 집중하게 된다. 따라서 cabochon 시료전체에는 Fig.7에서 보는 바와같이 장축방향으로 뻗은 한 줄기의 빛 즉, 변채가 관찰된다. 단, 변채가 관찰되는 위치는 빛의 입사방향이나 눈(eye)의 위치에 따라 변화한다.

4. 결 론

2 중도카니법에 의하여 (Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)<sub>0.85</sub> · (Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub>)<sub>0.15</sub> - 6 Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub> · SiO<sub>2</sub> 제 공정조성의 용액을 100°C/cm 의 온도구배하에서 0.5 mm/h 의 응고속도로 일방향응고하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

1) 침상의 δ - (Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)<sub>0.85</sub> · (Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub>)<sub>0.15</sub> 결정이 γ - 6 Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub> · SiO<sub>2</sub> 결정 matrix 중에 평행하게 규칙적으로 배열된 복합다결정체를 제조할 수 있었다. 이 복합다결정체 중의 침상결정의 배열상태는 전체적으로 균일하며 응고진행방향에 평행하였다.

2) 복합다결정체 중에서, δ - (Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)<sub>0.85</sub> · (Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub>)<sub>0.15</sub> 결정의 <110> 방향과 γ - 6 Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub> · SiO<sub>2</sub> 결정의 <111> 방향은 항상 평행한 관계를 유지하였다.

3) 이 복합다결정체는 고분해능의 화상전송기능과 변채효과(Chatoyancy)를 나타내어 화상전송소자 또는 인공보석으로 응용할 수 있는 가능성을 보였다.

감사의 글

본 연구는 문교부 학술연구 조성비 지원으로 이루어졌으며 이에 감사드립니다.

REFERENCES

1. T.Kokubo and H.Kim, "Directionally Solidified Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-6 Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub> · SiO<sub>2</sub> Eutectic", *J. Mater. Sci.*, **21**, 1441 (1986).
2. E.M.Levin and R.S.Roth, "Polymorphism of Bismuth Sesquioxide II", *J. Research NBS.*, **68A**, 197 (1964).
3. M.C.Flemings, "Solidification Processing", McGraw-Hill Inc., New York (1974), p.114.
4. H Kim, S.Ito, T.Kokubo and M.Tashiro, "Fabrication of Polycrystalline γ-6 Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub> · SiO<sub>2</sub> Ceramic by Temperature-gradient Furnace Technique", *J JPN, Ceram. Sci.*, **89**, 323 (1981).
5. H.Kim, S.Ito, T.Kokubo and M.Tashiro, "Fabrication of γ-6 Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub> · SiO<sub>2</sub> and γ-6 Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub> · GeO<sub>2</sub> Monocrystal by Temperature-gradient Furnace Technique Using Double Crucibles", *J JPN. Ceram. Sci*, **90**, 348 (1982).
6. 秋月端彦, "光を放つ宝石", *日本寶石學會誌*, **3**, 3 (1976).