

논문

Te 도핑된 InSb의 수직 브릿지만 결정성장시
횡적자장이 거시편석에 미치는 영향

이근희*, 이진형*, 윤우영**, 백홍구***, 강춘식****

The Effect of Transverse Magnetic Field on Macrosegregation
in Vertical Bridgman Crystal Growth of Te doped InSb

Geun-Hee Lee*, Zin-Hyoung Lee*, Woo-Young Yoon**,
Hong-Ku Baek*** and Chun-Sik Kang****

Abstract

An investigation of the effects of transverse magnetic field on melt convection and macrosegregation in vertical Bridgman growth of Te doped InSb was carried out by means of microstructure observation, the measurement of Te distribution by Hall measurement, electrical resistivity measurement and X-ray analysis. Prior to the experiments, interface stability, convective instability and suppression of convection by magnetic field were examined. A thermosolutal convection in the Te doped InSb melt occurred in the examined growth condition without magnetic field. The effective distribution coefficient, k_{eff} , was about 0.35 without magnetic field, 0.45 with magnetic field of 2kG, and 0.7 at 4kG. It was found that the stronger the applied magnetic field was, the more the convection was suppressed.

(Received October 25, 1996)

1. 서론

반도체 재료 내에 첨가한 합금원소 및 불순물의 균일한 분포를 얻기 위한 여러 가지 결정성장 방법이 이용되고 있다. 한편 결정성장시 여러 가지 요인으로 발생하는 시편내의 거시 및 미시편석에 관한 연구도 활발히 진행되고 있다. 성장된 결정 내의 용질원소 및 불순물의 편석은 재료의 물리적, 전기적 성질의 불균질성을 유발하기 때문에 이에 대한 이해와 편석의 억제가 요구된다. 시편 내에 발생하는 편석의 요인으로는 결정성장시 고액 계면의 모양에 의한 것과 액체 내에서 일어나는 대류에 의한 것이 있다.

결정의 성장시 고액 계면이 평면이 되지 않고 세포상 또는 수지상으로 성장하게 되면 세포상이나 수지상의 중심에서 가지로 편석이 발생하게 된다. 또한 고액 계면에서의 열 및 물질 이동현상으로 인해 액체 내에 밀도차가 생기게 되면 대류가 발생하게 되는데, 이러한 액체 내의 대류에 의해서 성장된 결정에 용질 원소의 편석이 생기게 된다. 편석이 적은 균질한 조성의 결정을 얻기 위하여, 용질의 원소가 더 무거운 경우 아래부분 온도가 위부분 온도보다 낮은 수직 브릿지만 성장방법을 채택하면 대부분의 열적대류를 억제할 수 있지만 실제로는 미약한 반경방향으로의 온도구배에 의하여 열적대류가 일어날 수 있다[1].

*한국과학기술원 재료공학과(Dept. of Materials Science & Engineering, KAIST, Taejon 305-701)

**고려대학교 공과대학 금속공학과(Dept. of Metallurgical Engineering, Korea Univ., Seoul 136-701)

***연세대학교 금속공학부(Dept. of Metallurgical Engineering, Yonsei Univ., Seoul 120-749)

****서울대학교 공과대학 재료공학부(Dept. of Metallurgical Engineering, Seoul National Univ., Seoul 151-742)

반면 용질원소가 더 가벼운 경우에는 용질 경계층이 더 가벼워지기 때문에 용질대류가 일어나고 [2] 용질경계층이 더 가벼워지지 않더라도 열확산계수(α)와 용질확산계수(D)의 큰 차이로 인한 이중확산에 의해 열용질대류가 일어날 수 있다 [3]. 이러한 용질원소의 편석을 유발하는 대류를 억제하기 위해 미소중력장[4] 또는 지상에서 전장이나 자장 하에서의 결정성장[5-7]에 관한 연구가 진행되고 있다. 전도성의 액체인 경우 강한 자장 하에서는 액체의 유동에 대한 반발력으로 로렌쯔힘이 작용하게 되며[8], 이 힘에 의해 대류가 억제될 수 있다. 본 연구에서는 IR소자, Hall effect magnetometer, Optoelectronics소자 등으로 쓰이며 매우 낮은 band gap 에너지($E_g = 0.18\text{eV}$)를 가지고 있는 InSb에 Te를 도핑하여 수직 브릿지만 형의 장치에서 성장시키면서 결정성장시 일어나는 액체의 대류와 이 대류에 미치는 자장의 효과를 관찰하였다. 이때 걸어준 자장은 횡적 자장이었으며, Te의 농도는 Hall effect를 이용하여 구했다. 또한 InSb결정의 성장도중 고액 계면의 형태를 관찰하고, 결정의 성장속도를 정확히 알기 위하여 Peltier효과를 도입하였다. 아울러 결정성장시 일어나는 대류의 발생조건[9,10,11]을 이용하여 InSb-Te계에서의 대류발생조건을 계산했고 이것을 실험의 결과와 비교해 보았다.

2. 대류의 발생 및 억제에 관한 이론적 배경

결정성장시 액체 내에 불안정한 밀도차가 생기면 대류가 일어나게 되는데, 액체 내에 밀도차를 발생시키는 인자로는 반경방향의 온도 및 농도구배와 수직방향의 온도 및 농도구배가 있다. 온도와 조성에 의존하는 액체의 밀도 ρ 는

$$\rho = \rho_0(1 + \beta_T \cdot \Delta T + \beta_c \cdot \Delta c) \tag{1}$$

로 표시된다. 따라서 액체 내에 온도나 농도의 구배가 생기면 밀도구배가 생기게 되고, 이러한 밀도차에 의해 대류가 발생하게 된다. 액체에서 일어나는 대류는 일반적으로 무차원 변수인 열 및 용질 레일리 수(Ra_T, Ra_S)를 사용하여 표현한다. 열 및 용질 레일리 수의 정의는 다음과 같다.

$$Ra_T = \frac{g\beta_T \Delta T L^3}{\nu \alpha} \tag{2}$$

$$Ra_S = \frac{g\beta_c \Delta C L^3}{\nu D} \tag{3}$$

본 연구에서는 반경방향으로의 온도 및 농도구배에 대한 영향은 고려하지 않고, 수직방향으로의 온도 및 농도구배를 고려하여 InSb-Te계에 대한 결정성장시 대류발생 조건을 예측하였고, 횡적 자장이 도입될 때의 대류 억제효과를 조사하였다.

InSb-Te계에 있어서 평형분배계수 k 는 1보다 작으며 용질인 Te의 밀도가 작은 경우로서, 액체내의 Te농도 및 밀도분포는 Fig. 1과 같이 표현된다. Fig. 1에서 보면 액체의 아랫부분이 윗부분보다 가볍게 되어 대류가 일어날 수 있는데, 일단 어떤 원인으로 교란된 액체는 용질 경계층 밖에서도 여전히 부력을 받아 계속 상승하게 되어 액체 전체에서 대류가 일어나게 된다. 일반적으로 $\nu \gg D$ 일 때 교란된 액체의 요소는 교란되기 이전의 농도를 거의 유지하므로 용질경계층 밖에서도 여전히 부력을 받게 되는 것이다. 이러한 원리로 발생하는 대류를 용질대류라 하며, 이러한 대류가 일어나기 위해서 Ra_S 가 어느 임계값 이상이 되어야 한다[2].

$$Ra_S > Ra_S^c \tag{4}$$

그런데 본 연구의 조건에서와 같이 대류에 대

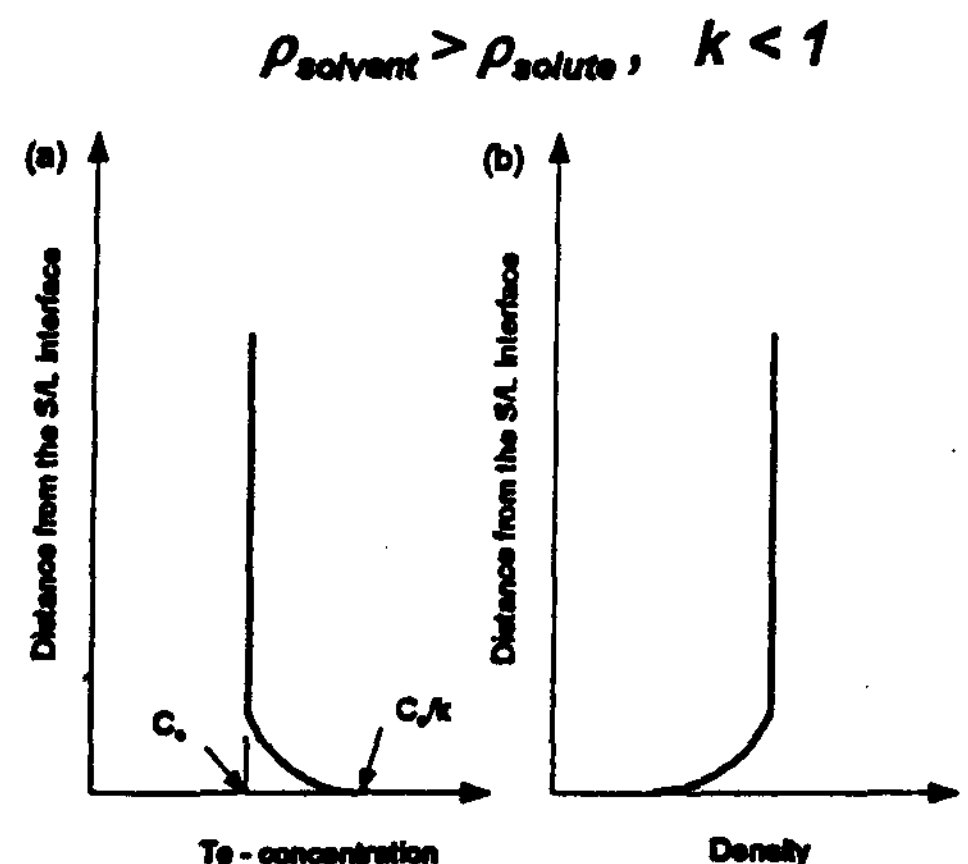


Fig. 1. Concentration and density profile in the melt from the interface.

(a) Concentration profile.

(b) Density profile due to concentration profile.

해 온도구배는 안정화효과를 주고, 농도구배는 불안정화 효과를 줄 때에 최종밀도 분포가 대류를 일으키지 않는 안정한 구배를 가지더라도 온도와 용질원소의 서로 다른 확산계수차로 인해 대류를 일으킬 수 있게 된다. 즉 어떤 교란에 의해 액체의 작은 요소가 위로 올라가게 되면 요소의 온도는 α 가 매우 커서 쉽게 주위 액체의 온도와 같아지지만, 용질 농도는 아직 높은 값을 가지고 있다. 따라서 교란된 요소는 주위보다 농도가 높기 때문에 밀도가 낮아지면서 계속적으로 위로 올라가게 되며 이러한 현상을 열용질대류라고 한다. Fig. 2에서 보듯이 온도구배가 양으로 안정화 효과를 주고 농도구배에 의한 밀도구배는 불안정화 효과를 줄 때, 고액계면에서의 실제 밀도구배는 식(1)을 z 로 미분한 (5)식과 같이 표현된다.

$$\left(\frac{\partial \rho}{\partial z}\right)_{z=0} = \rho_0 \left[\beta_T \left(\frac{\partial T}{\partial z}\right)_{z=0} + \beta_C \left(\frac{\partial c}{\partial z}\right)_{z=0} \right] \quad (5)$$

(5)식에서 $\left(\frac{\partial \rho}{\partial z}\right)_{z=0} > 0$ 이면 용질대류가 일어나

고, $\left(\frac{\partial \rho}{\partial z}\right)_{z=0} \leq 0$ 인 경우에는 정적으로는 안정적

이지만 $\left(\frac{\partial \rho}{\partial z}\right)_{z=0}$ 가 0보다 크게 작지 않으면 $\alpha \gg$

D이기 때문에 앞에서 설명한 바와 같이 열용질대류가 일어날 수 있게 된다. 열용질대류는 용질원소의 분포가 불안정화효과를 줄 때 일어나는 용질대류에 안정화효과를 주는 온도구배 효과를 복합하여 해석하게 되므로 대류의 발생조건을 구

하는 것이 간단하지 않다. 열용질대류의 발생조건을 간단한 경계조건을 써서 이론적으로 구하는 경우[12]와 수치 해석적으로 구하는 경우[13]가 있는데 각각이 장단점을 가지고 있다. 이론적으로 구한 열용질대류의 발생조건은 식(6)으로 표현된다.

$$R_i = Ra_s + a_1 \cdot Ra_T^{\alpha_1} > a_3 \quad (6)$$

여기서 a_1, a_2, a_3 은 재료의 물성치와 도가니 크기에 의존하지만 성장속도, 온도구배, 초기 조성, 중력 등에는 무관한 값으로서 이 값들을 적절히 선택해 주면 복잡한 수치해석 과정을 거치지 않고도 비교적 정확한 열용질대류의 발생조건을 구할 수 있게 된다. 일반적으로 $\alpha \gg D$ 이므로 $Ra_s \gg Ra_T$ 가 되어 대류에 미치는 온도구배의 영향은 매우 작게 된다. 또한 대류에 대해 안정화 효과를 주는 온도구배가 작을 때에도 위의 식(6)에서 두번째 항, $a_1 \cdot Ra_T^{\alpha_1}$ 가 Ra_s 에 비해 매우 작으므로 무시할 수 있게 되고 이 경우 식(4)와 비교하여 a_3 이 Ra_s^C 가 된다고 할 수 있다. 그리고 초기 조성이 작고 성장속도가 느릴 경우에는 Ra_T 의 비중이 커지면서 무시할 수 없게 되고 결국 식(6)은 아래와 같은 식(7)로 표현된다.

$$R_i = Ra_s + a_1 \cdot Ra_T^{\alpha_1} > Ra_s^C \quad (7)$$

2.1 자장의 대류억제 효과

자장에 의한 대류억제효과는, 유체의 점성력에 대한 자장의 저지력 비를 나타내는 Hartmann수의 제곱

$$M^2 = B^2 L^2 \frac{\sigma}{\eta} \quad (8)$$

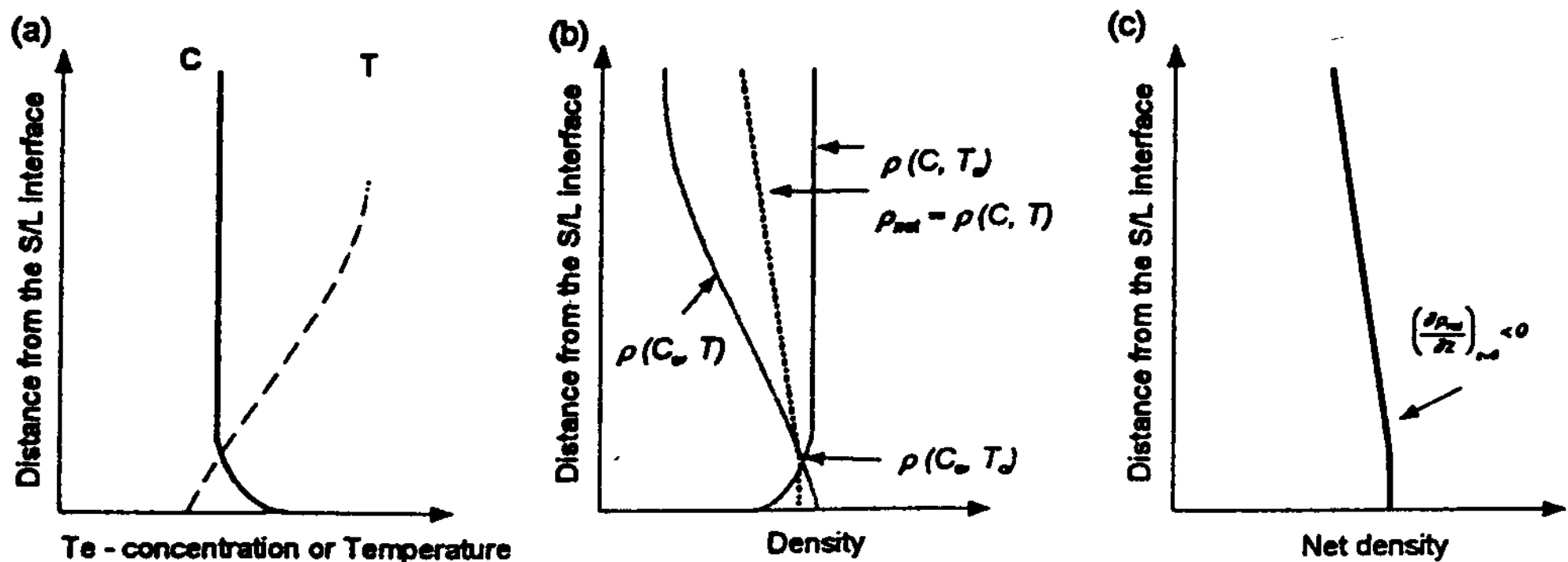


Fig. 2. Concentration, temperature, and density profile near the interface.

(a) Concentration and temperature profile. (b) Density profiles. (c) Net density profile.

으로 표시된다. 유체 역학적인 측면에서 Grashof 수는 점성력에 대한 부력의 비를 나타내므로 Grashof수에서 Hartmann수의 제곱을 빼주면 점성력에 대한 유효 부력(부력에서 자장에 의한 저지력을 뺀 값)의 비를 구할 수 있다. 점성력에 대한 유효 부력의 비인 수정된 Grashof수(Gr')를

$$Gr' = Gr_s - M^2 \quad (9)$$

으로 정의하고, Gr' 에 Sc 를 곱한 수정된 Rayleigh(Ra')수를 정의하면

$$Ra' = Gr' \cdot Sc = (Gr_s - M^2) \cdot Sc \quad (10)$$

가 된다. 이 수를 위에서와 같이 대류의 발생조건에 대입하게 되면

$$Ra' > Ra_s^C \quad (11)$$

로 표현된다.

3. 실험방법

Te가 도핑된 InSb의 결정성장시 자장의 효과를 관찰하기 위하여 Fig. 3과 같은 실험장치를 사용하였다. 여기서 보는 바와 같이 two zone 관상 로를 수직으로 세워 전자석 사이에 위치시키고, 로 바닥으로부터 70mm되는 위치의 온도가 650°C가 되게 하여 안정한 온도구배($\frac{\partial T}{\partial z} > 0$)를 가지도록 하였다. 전자석은 직경이 100mm, pole사이의 거리가 110mm였다. 전자석에 최대 30A까지 흘려주어 4kG의 자장을 얻었다. 결정성장시 액체에 균일한 자장이 걸릴 수 있도록 석영도가니를 자석pole의 중심에 위치시켰다. 결정성장 중 펠티어효과(Peltier effect)를 관찰하기 위해 2A의 전류를 1초동안 50초 간격으로 흘렸다. In, Sb, Te는 순도 99.999%로 먼저 In, Sb

를 1:1로 섞어준 뒤 목표조성의 Te를 첨가하여 봉상시편으로 주조한 뒤 650°C에서 2시간동안 유지하여 균질화처리를 하였다. 균질화 처리된 시편은 다시 녹인 뒤 Table 1과 같은 각각의 실험조건에 따라 결정성장을 진행하였다. 얻어진 봉상시편은 다이아몬드 절단기를 사용하여 Fig. 4와 같이 절단하였고, 각부분에 대하여 Hall 전압 측정, 미세조직관찰을 시행하였다. 미세조직관찰을 위해 1HF(48%)+1CH₃COOH(glacial)+1KMnO₄(saturated aqueous solution)를 사용하여 에칭하였다.

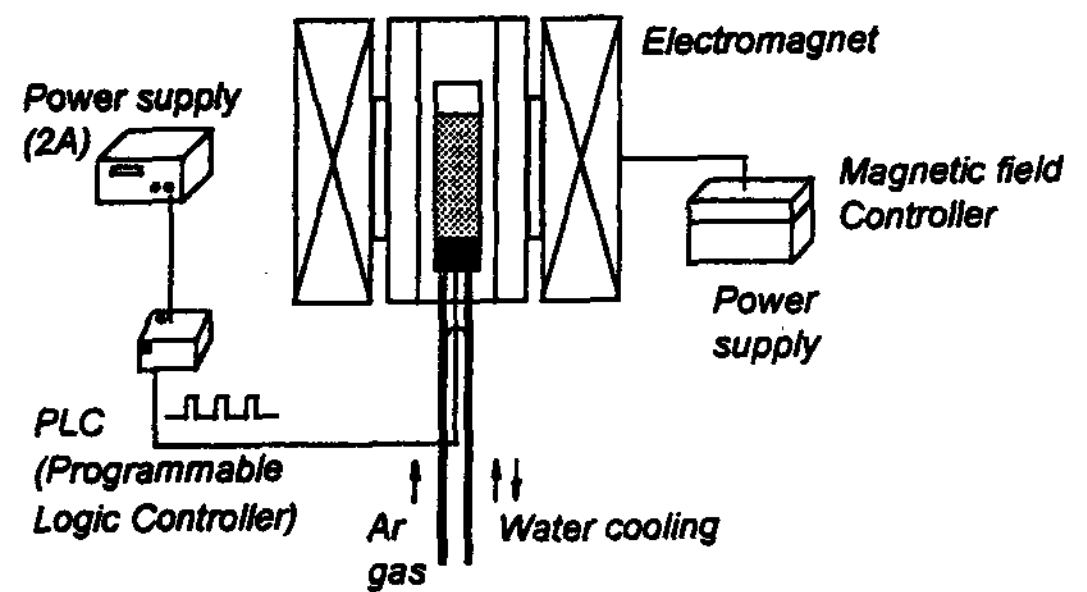


Fig. 3. Experimental setup for Bridgman growth in magnetic field.

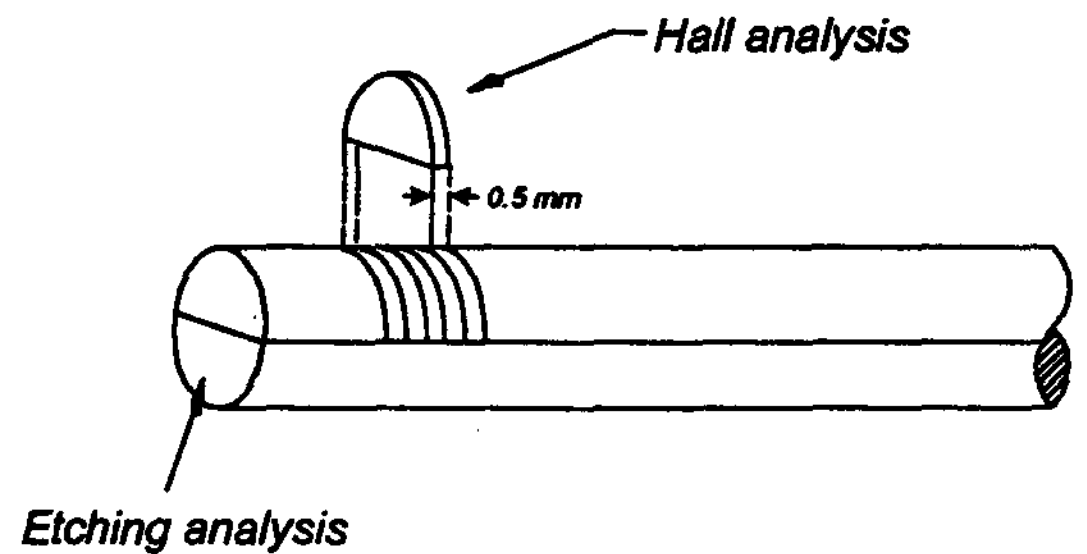


Fig. 4. Sectioning scheme for analysis of grown InSb crystal.

Table 1. Growth condition.

Sample No.	Index	Target Te conc. (cm ⁻³)	Growth rate (μm/sec)	Mag. field (KG)	Peltier effect
1	Pm0p0	0	1.97	0	-
2	19m0p0	10 ¹⁹	2.10	0	-
3	19m2p0	10 ¹⁹	2.70	2	-
4	19m0p1	10 ¹⁹	2.15	0	applied
5	19m2p1	10 ¹⁹	2.16	2	applied
6	18m4p0	10 ¹⁸	2.38	4	-
7	18m4p1	10 ¹⁸	1.94	4	applied

4. 결과 및 고찰

4.1 대류의 발생조건

InSb-Te합금은 facet효과를 고려하지 않는 경우 $k \approx 0.47$ [14]로 1보다 작고 Te의 밀도(6.24g/cm^3)가 InSb액체의 밀도(6.48g/cm^3)보다 약간 작으며, 온도구배는 30K/cm 로 양을 값을 가지기 때문에 성장조건에 따라 용질 또는 열용질대류가 일어날 수 있다. InSb-Te합금에서 대류가 일어날 경우 용질대류와 열용질대류를 구분지어 주는 요인은 고액계면에서의 실제 밀도구배이며, Fig. 5가 $G=30\text{K/cm}$ 일 때 InSb-Te결정의 성장속도와 초기조성에 따른 실제 밀도구배를 계산에 의해 구한 것이다. 계산에 사용된 값들은 Table 2에 정리하였다. 일정한 초기조성에서 성장속도가 느려지면 실제 밀도구배는 음의 값을 가지면서 열용질대류가 일어날 수 있고, 성장속도가 빨라지면 용질대류가 일어날 수 있게 된다.

Pb-Sn, Al-Mg합금에 대해 대류발생조건을 구했던 것[3,11,15]을 기초로 하여 식(5)를 이용, 본 합금계에서의 대류발생조건을 근사적으로 구했다. 온도구배는 30°C/cm , a_1 은 근사적으로 10, a_2 는 합금계에 영향을 받지 않는다고 하였으므로 0.69[3], Ra 는 10을 사용했다. 정리된 대류발생조건식은

$$R_i = Ra_s + 10 \cdot Ra_T^{0.69} > 10 \quad (12)$$

으로 표현된다. 대류발생조건식 (12)는 결정성

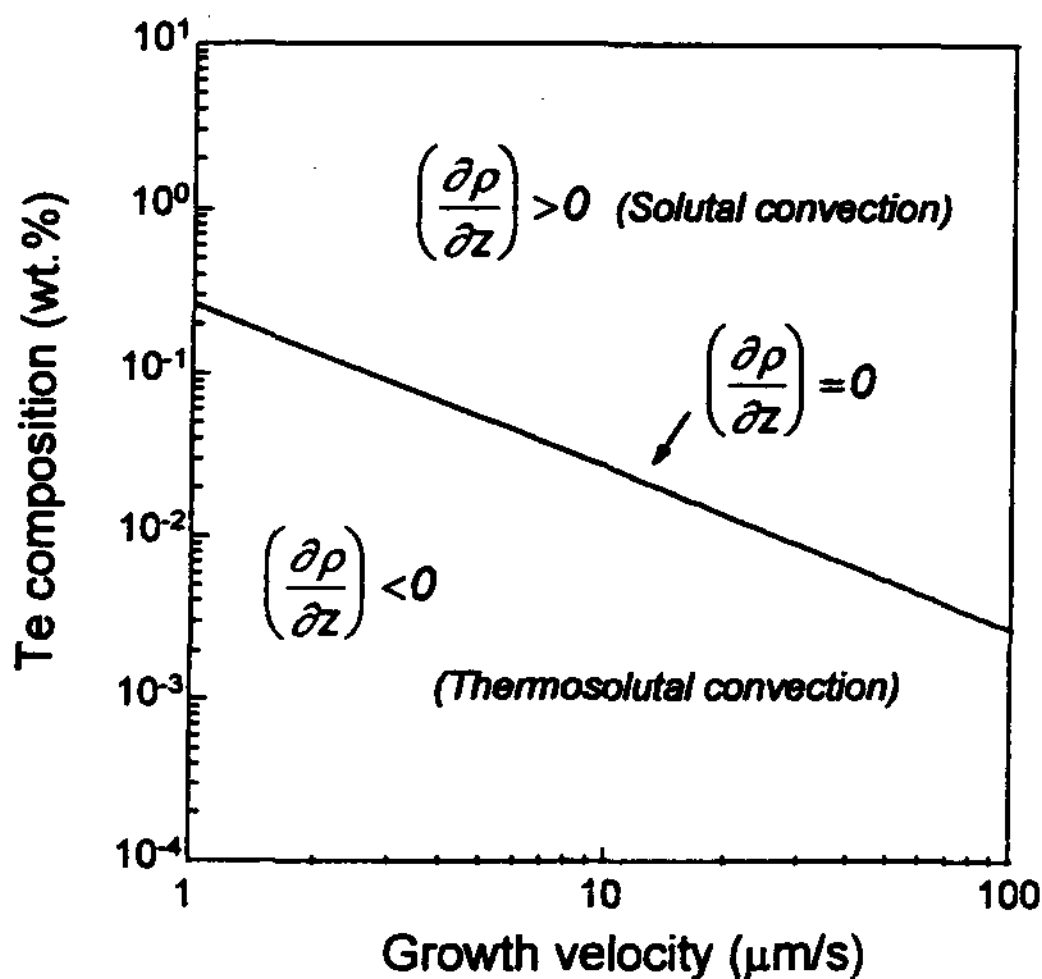


Fig. 5. Net density gradient at the interface of InSb-Te for $G_L=30\text{K/cm}$.

Table 2. Numerical values for theoretical calculation.

Symbol	value	Unit
D	10^{-5}	cm^2/s
g	980	cm^2/s
G_L	30.59	K/cm
G_s	55.78	K/cm
G'	37.17	K/cm
K_L	0.13	$\text{J/cm} \cdot \text{K} \cdot \text{s}$
K_s	0.046	$\text{J/cm} \cdot \text{K} \cdot \text{s}$
k	0.47	
m	6.5	$\text{K/wt.}\%$
β_r	9.81×10^{-5}	K^{-1}
β_c	10^{-3}	$\text{wt.}\%^{-1}$
η	2.34×10^{-3}	$\text{Pa} \cdot \text{s}$
α	7.1×10^{-2}	cm^2/s
ν	3.6×10^{-3}	cm^2/s
σ	8×10^3	$\Omega^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$
ψ	0.95	

장시 계면이 평면을 가진다고 가정한 것이므로 대류발생조건을 구하는 경우 평활계면안정조건 (Mullins-Sekerka criterion)도 포함하여야 한다. InSb-Te합금계에 대한 평활계면안정조건, 용질 및 열용질대류 조건, 대류의 발생조건을 종합하여 계산한 것이 Fig. 6이다. 본 연구에서는 성장속도 $2\mu\text{m/s}$, 초기농도 3×10^{-2} , $3 \times 10^{-3}\text{wt.}$

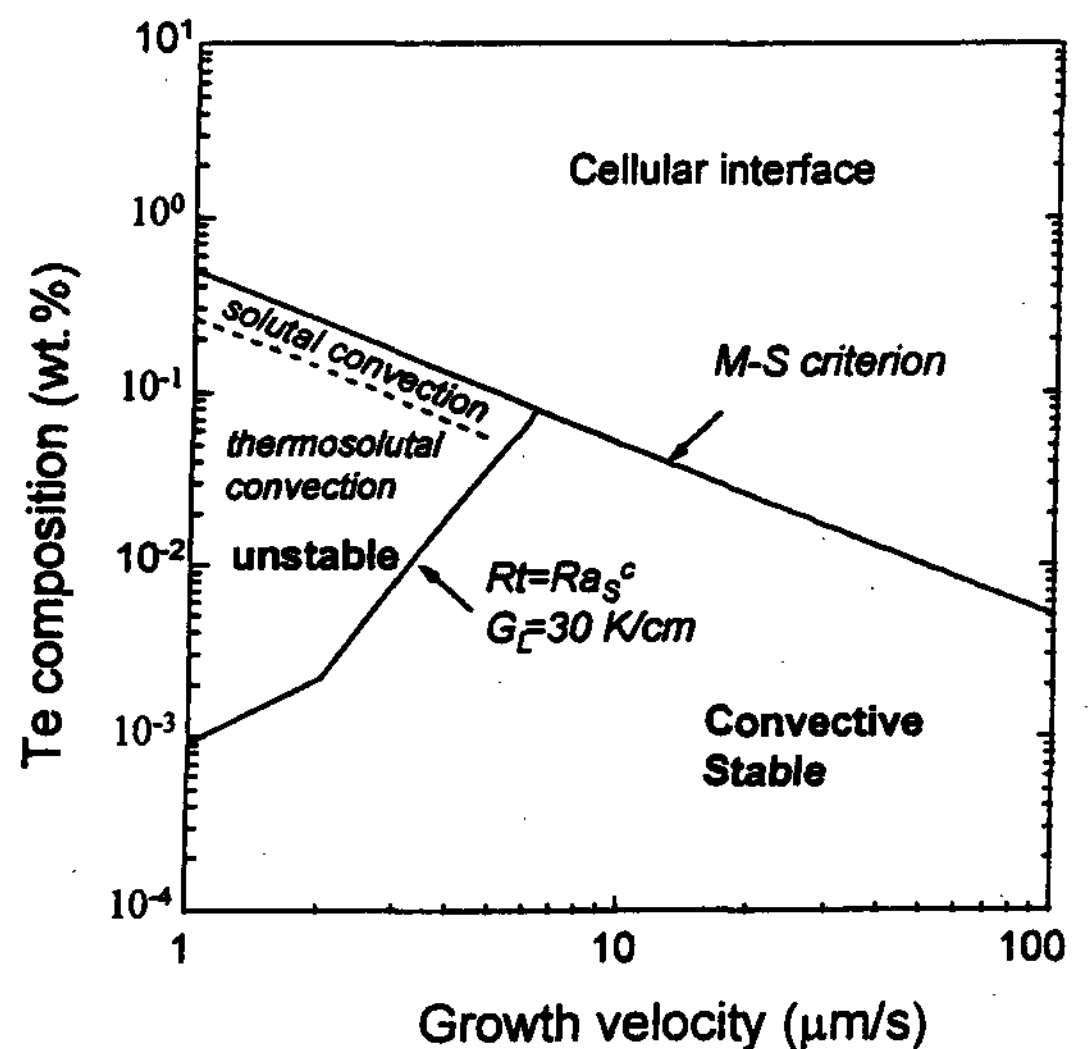


Fig. 6. The critical concentration above which instability occurs as a function of growth velocity of InSb-Te for $G_L=30\text{K/cm}$.

%로서 그림에서 볼 때 불안정한 영역에 속해 있으며 열용질대류가 발생할 수 있다.

자장 하에서 전도성 유체의 유동이 일어날 때 Lorentz 힘에 의해 대류가 억제되는 효과를 식 (11)을 이용하여 계산한 결과가 Fig. 7이다. 자장이 커지면서 대류가 억제되는 안정한 영역이 넓어지고 있음을 알 수 있다. 본 연구에서 적용된 성장속도와 초기조성을 ■로 표시하였다. 그림에서 1kG 이상의 자장이 걸리면 본 연구에서

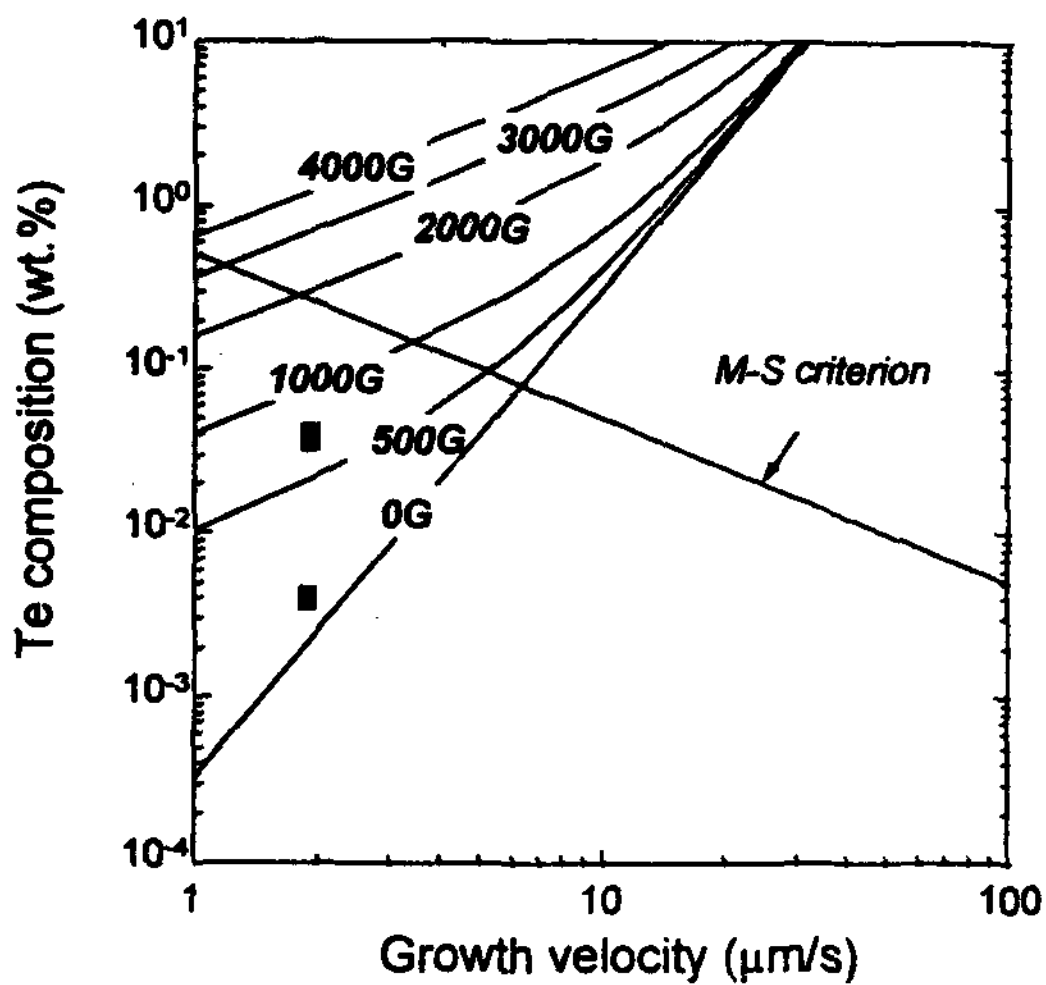


Fig. 7. Convectonal instability of InSb-Te under transverse magnetic field.

사용한 성장조건이 안정한 영역으로 변화됨을 예측할 수 있었다.

4.2 미세조직 관찰

본 실험에서 얻어진 InSb는 다결정 상태이다. Fig. 8에서 보면 알 수 있듯이 본 실험의 조건에서 성장한 InSb결정은 공통적으로 쌍정을 잘 형성하는 facet로 성장하면서 grain들이 길쭉하게 방향성 응고를 하였음을 쉽게 관찰할 수 있다.



Fig. 8. Macrostructure of Te doped InSb crystal grown by Bridgman method.

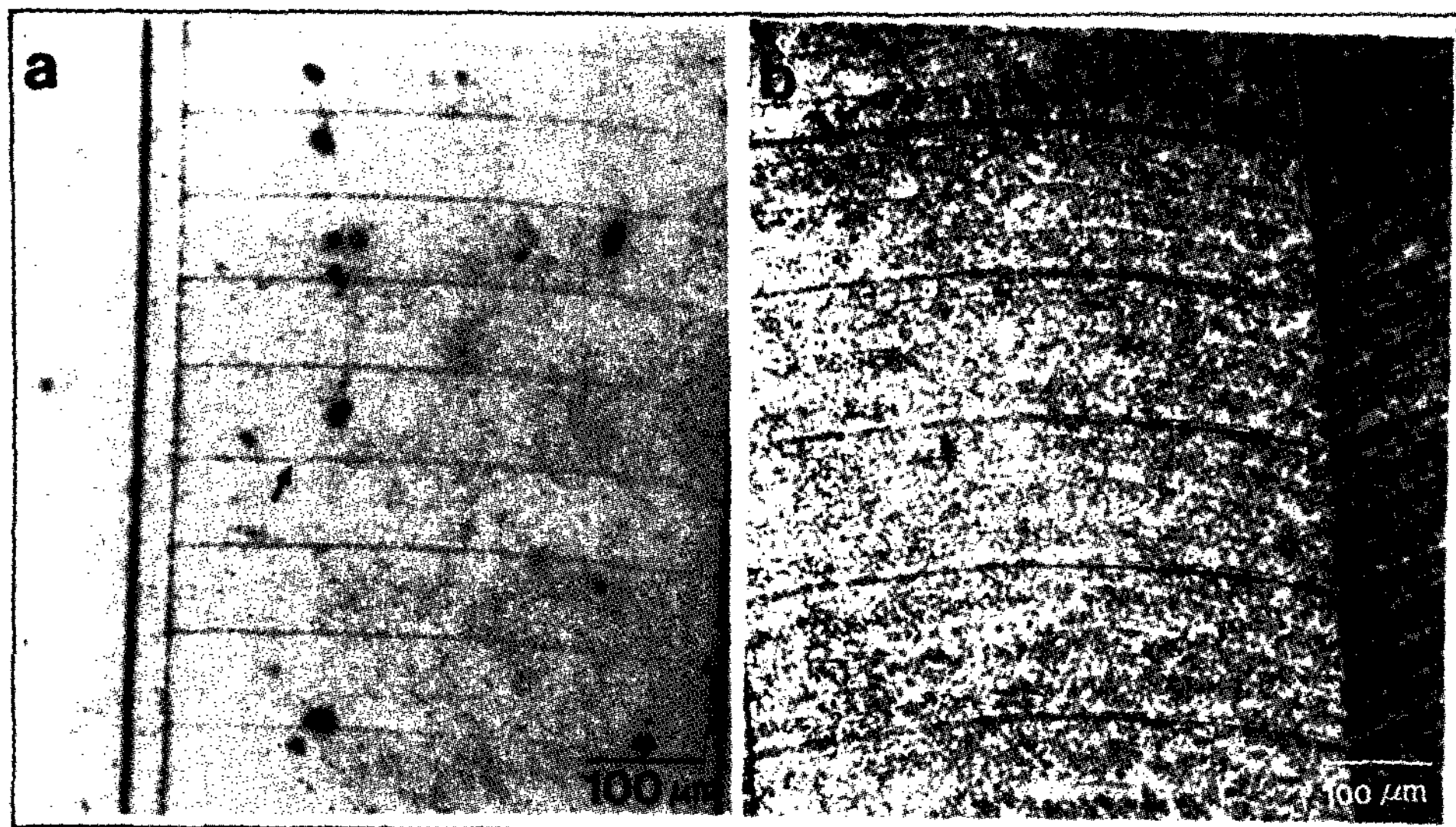


Fig. 9. Microstructure of Te doped InSb crystal.

(a) with Peltier effect, without magnetic field.

(b) with Peltier effect and magnetic field.

Fig. 9는 결정성장 도중 2A의 전류를 고체에서 액체쪽으로 흘려줌으로써 Peltier effect를 가한 시편의 단면 조직 사진이다. 일정한 시간 간격(50sec)에 걸쳐 전류를 흘려준 결과 일정한 간격의 줄무늬(striation)가 얻어졌다. 이러한 줄무늬를 통해 결정성장시 고액 계면의 모양을 정확하게 파악할 수가 있고 또한 일정한 시간 간격으로 전류를 흘려준 사실을 통해 실제 결정의 성장 속도를 알 수 있게 된다. Fig. 9의 (a)는 자기장을 걸어주지 않고 Peltier effect를 가한 시편의 미세조직이다. grain의 가장자리에 쌍정경계(twin boundary)가 형성되어있음이 관찰된다. (b)는 자기장을 걸어주면서 Peltier effect를 가한 시편으로서 쌍정경계는 관찰되지 않았지만, 굵고 뚜렷한 줄무늬 사이에 미세한 줄무늬들이 관찰되고 있다. 이것은 자기장을 통과하는 짧은 전류에 의해 액체에서 미약하나마 Lorentz 힘에 의한 어느 정도의 진동이 일어났기 때문이라고 생각된다. Fig. 9를 통해 처음 계획했던 대로 평활 계면을 유지하면서 성장하고 있음을 확인할 수 있었고, 성장 속도 또한 1~2 $\mu\text{m}/\text{sec}$ 의 속도를 유지하고 있음을 확인하였다.

4.3 InSb내의 Te 농도분포

각 시편의 Te농도분포는 앞에서 말한 바와 같이 Hall effect를 이용하여 측정하였다.

Fig. 10은 순수한 InSb(Pm0p0)에 대해 농도 분포를 구한 것이다. 전체 carrier의 농도는 10^{16} order로 다른 문헌[16]에서 보고되고 있는 intrinsic한 carrier농도와 거의 같은 양을 나타내고 있는데 시편의 뒤로 갈수록 carrier농도가 높아지는 것은 약간의 불순물이 순수한 In과 Sb내에 포함되어 있었기 때문이라고 생각된다. 그림에서 볼 때 대류가 존재하고 있음이 확인된다. 순수한 InSb의 carrier농도가 10^{16} 이므로 본 연구에서 도핑한 Te에 비해 $10^2, 10^3$ 정도가 낮으며, 그러므로 Te를 $10^{18}, 10^{19}$ 도핑하는 경우 Hall effect를 통해 측정하는 carrier농도는 도핑한 Te의 농도와 같다고 할 수 있다.

Fig. 11은 10^{19} Te가 도핑된 InSb의 carrier농도분포 곡선이다. 그림내의 점선은 수정된 Scheil 식,

$$C_s^* = k_{\text{eff}} C_0 (1 - f_s)^{(k_{\text{eff}} - 1)} \quad (13)$$

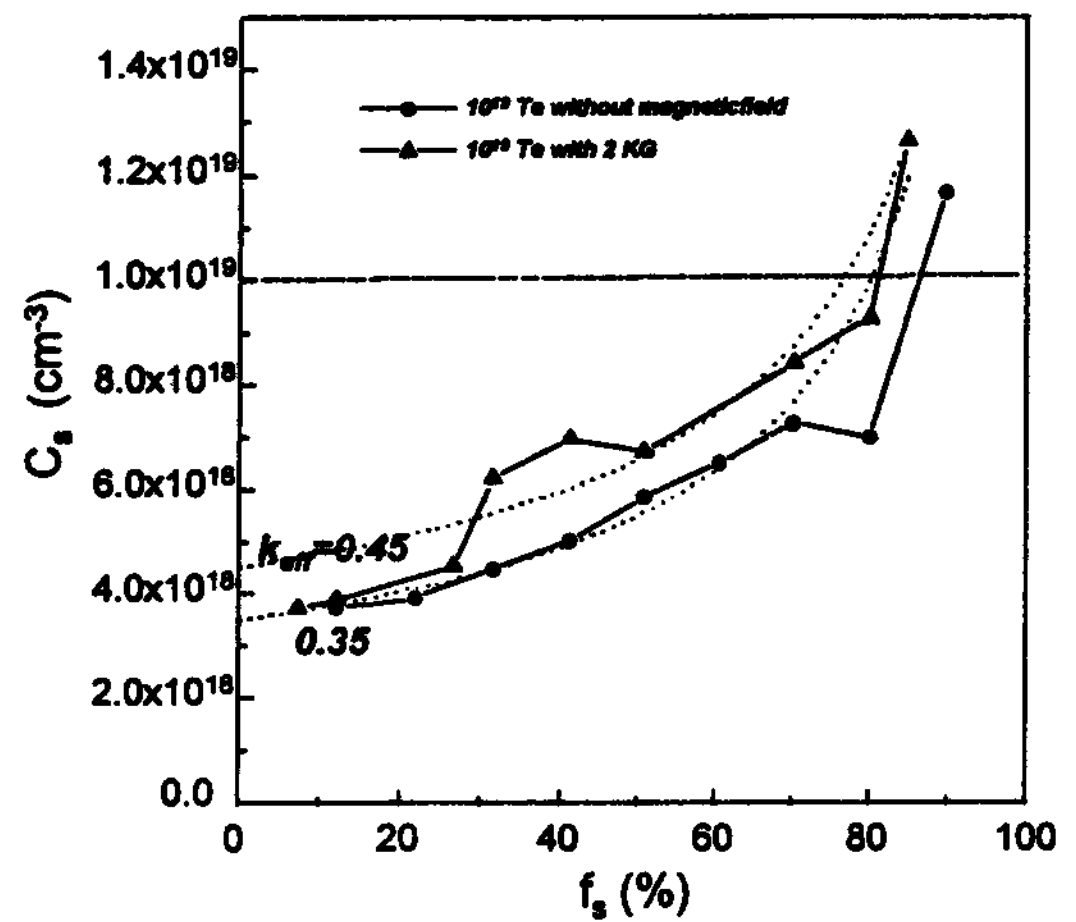


Fig. 10. Carrier concentration distribution of pure InSb crystal.

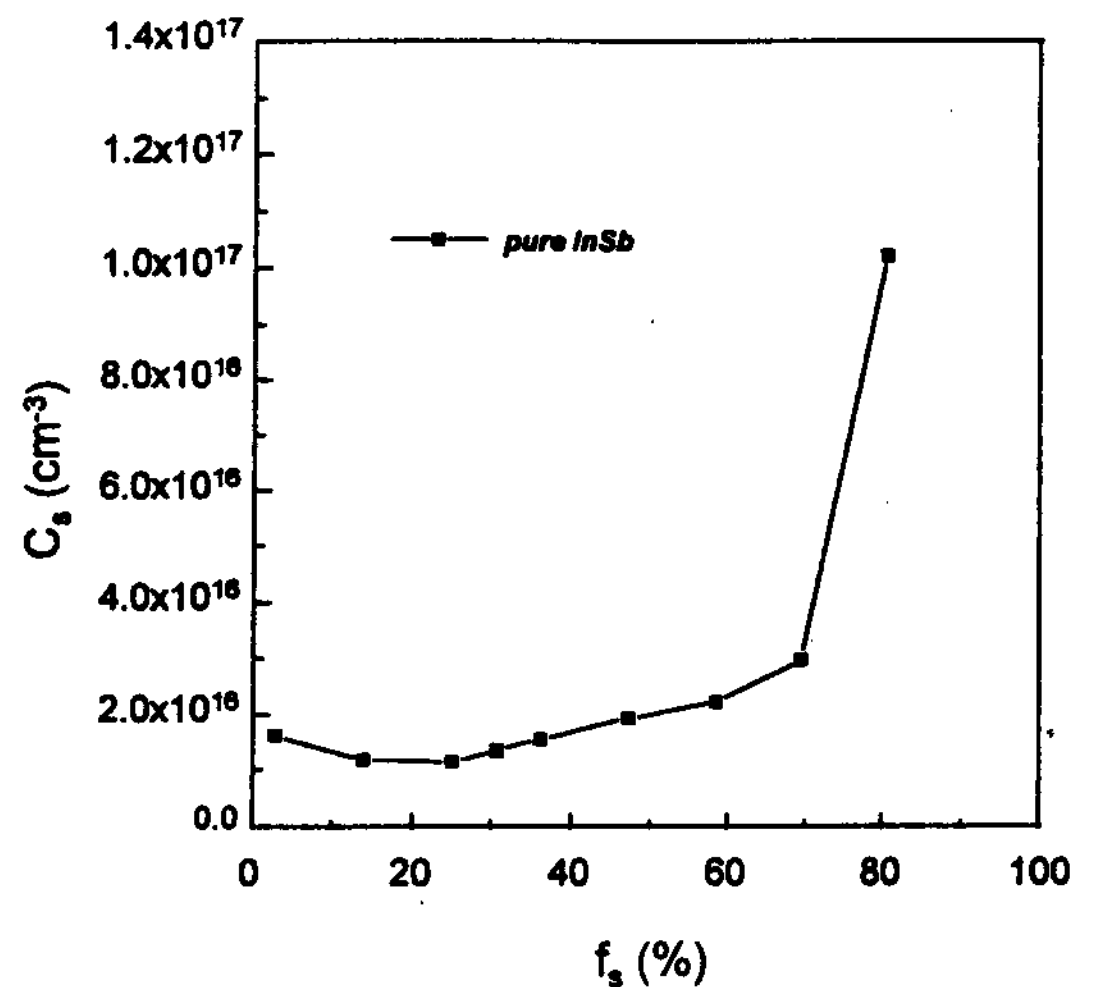


Fig. 11. Carrier concentration distribution of 10^{19} Te doped InSb crystal(19m0p0, 19m2p0).

을 따르는 곡선으로서 이것과 비교함으로써 자기장에 의해 농도분포가 변화하고 있음을 비교적 정확하게 확인할 수 있다. 자기장을 걸어주지 않은 시편은 k_{eff} 값이 약 0.35, 2kG의 자기장을 걸어준 시편은 약 0.45를 나타내는 Scheil곡선을 따르고 있다. 자기장에 의해 k_{eff} 값이 0.1정도 증가하면서 전체적으로 대류가 어느 정도 억제되었음을 알 수 있다. 대류억제 조건에 대한 이론적인 계산과 비교해 볼 때, 자기장을 걸어주지 않은 시편에 대해서는 불안정한 영역에 속하므로 대류가 존재할 것으로 예측하였으며, 이것은 실험의

결과와 일치한다. 반면 2kG의 자기장을 걸어준 시편의 경우 계산 결과 안정한 영역에 속함에도 불구하고 역시 어느 정도 대류가 존재하는 실험 결과를 얻었다. 이것은 이론적 계산시 사용한 수치들 중 InSb-Te계에 대해 정확히 알려지지 않은 것을 근사하여 사용하였기에 발생한 오차라고 생각된다.

Fig. 12는 4kG의 자기장을 걸어서 두 번 실험한 시편의 농도분포이다. k_{eff} 값이 0.6에서 0.8을 따라가면서 대류가 상당히 억제되고 있음을 확인할 수 있다. Peltier effect를 가한 것과 가하지 않은 것에 대해서는 이 경우 별차이를 보이지 않고 있다.

결국 자기장에 의해 결정성장시 대류가 억제되는 효과는 이론적인 계산에 의해 어느 정도 예측이 가능하며, 이것은 실험적으로 k_{eff} 값이 증가하는 것을 통해 구체적으로 확인할 수 있다.

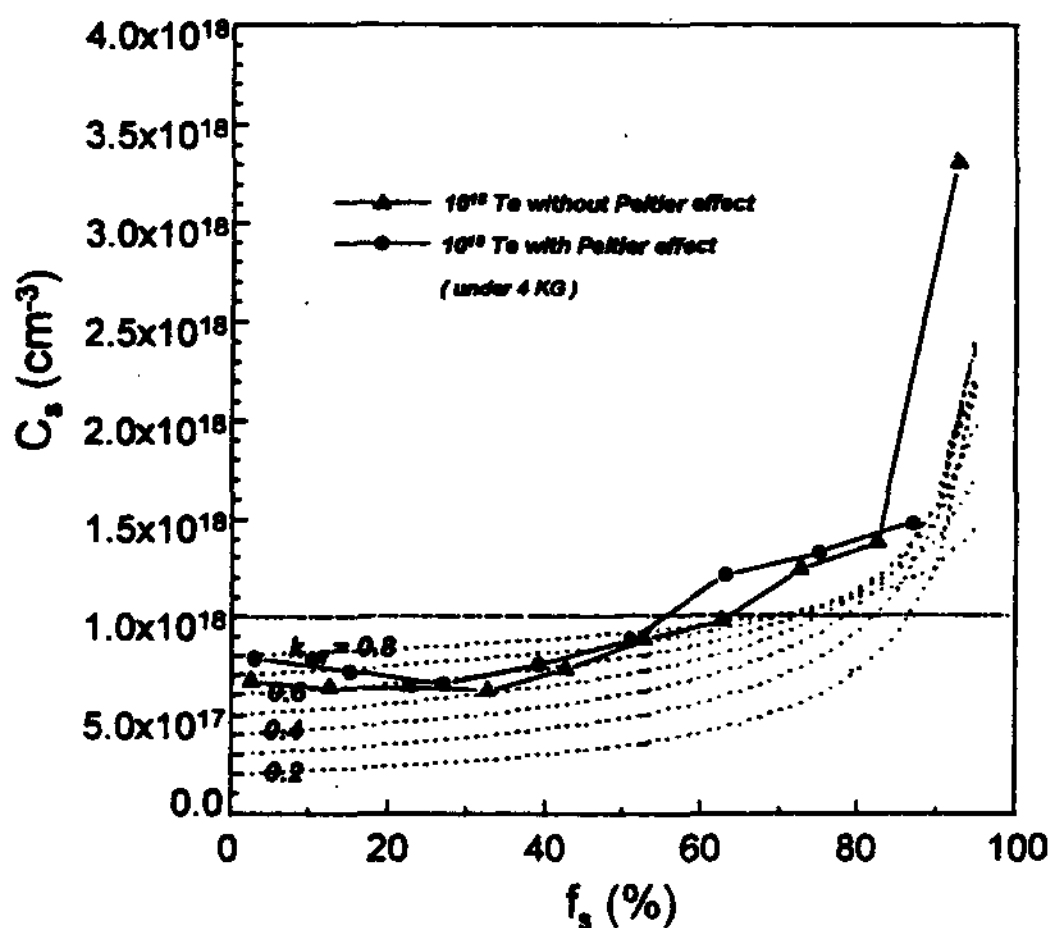


Fig. 12. Carrier concentration - distribution of 10^{18} Te doped InSb crystal with 4kG magnetic field(18m4p0, 18m4p1).

5. 결 론

수직 Bridgman형의 결정성장 장치를 이용하여 Te가 도핑된 InSb를 성장시키면서, 성장시 일어나는 대류의 형태를 이론적으로 예측하고, 이러한 대류에 의해 형성되는 결정내 거시편석에 미치는 자기장의 영향을 실험적으로 고찰하였다. 자기장에 의한 대류억제는 Hartmann수로 표현되며, 본 연구의 경우 1kG 이상의 자기장에서 대

류가 억제될 것을 기대하였다. 실제 실험을 통해 자기장을 걸지 않은 경우 k_{eff} 값은 0.35, 2kG의 자기장에서 0.45, 4kG의 자기장에서 약 0.7을 나타내면서 자기장에 의해 대류가 효과적으로 억제되고 있음을 확인하였다. 그러나 이론적인 예측과 실험적 결과에는 어느 정도 차이가 있었으며, 이를 볼 때 InSb-Te계에 대한 보다 정확한 물성치를 얻는 것이 필요하리라 생각한다.

InSb결정성장시 가한 Peltier effect를 통해 결정성장시 고액계면의 모양을 뚜렷하게 관찰할 수 있었으며, 또한 실제 결정의 성장속도를 정확히 알 수 있었다.

후 기

본 연구는 1994년도 교육부 신소재분야 연구지원(Ministry of Education Research Fund for Advanced Materials in 1994)에 의해 이루어졌으며 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

- [1] P. Bcla, J. C. Han and S. Motakef : J. Cryst. Growth 121 (1992) 394
- [2] B. Caroli, C. Caroli, C. Misbah and B. Roulet : J. Physique 46 (1985) 401
- [3] S. R. Coriell, M. R. Cordes and W. F. Boettinger : J. Cryst. Growth 49 (1980) 13
- [4] R. L. Parker : Results of Crystal Growth in Skylab (and ASTP) 1976 Crystal Growth and Materials, edited by E. Kaldis and K. J. Scheel, chap.III 6, North-Holland 1977.
- [5] P. Goldsmith : J. Cryst. Growth 79 (1986) 37
- [6] G. D. Robertson, Jr and D. J. Oconnor : J. Cryst. Growth 76 (1986) 100
- [7] G. D. Robertson, Jr and D. J. Oconnor : J. Cryst. Growth 76 (1986) 111
- [8] Ch. Vives : J. Cryst. Growth 76 (1986) 170
- [9] D. H. Matthiesen, M. J. Wargo, S.

Motakef, D. J. Carison, J. S. Nakos and A. F. Witt : J. Cryst. Growth 85 (1987) 557

[10] T. Suzuki : J. Cryst. Growth 92 (1988) 407

[11] Z. H. Lee, B. J. Lee, M. S. Kang, S. M. Chung, S. R. Coriell : J. Cryst. Growth 141 (1994) 209

[12] S. Motakef : J. Cryst. Growth 104 (1990) 833

[13] C. H. Su, S. L. Lehoczky and F. R. Szofran : J. Cryst. Growth 109 (1991) 392

[14] K. F. Hulme and J. B. Mullin : Solid-State Physics 5 (1962) 211

[15] M. S. Kang : M. S. thesis, KAIST, Korea (1993)

[16] Ben G. Streetman : Solid State electronic device, Prentice-Hall International editions, 3rd edition, (1990) 439

國內外鑄物關聯行事

1997

4월 10일~4월 11일

한국주조공학회 춘계대회
창원

5월 19일~5월 23일

제3차 러시아주조대회
Moscow, Russia

4월 14일~4월 18일

China Diecasting '97
북경, 중국

5월 23일~5월 26일

제130차 일본주조공학회 전국강연대회
지바, 일본

4월 20일~4월 23일

101차 미국주조대회
Seattle, 미국

6월 25일~6월 27일

CASTCON '97 및 CIATF
Technical Forum
Startford-upon-Avon, 영국

4월 28일~4월 30일

1997 Conference
York, 영국