

Ultrasonic法によるLiIn単結晶の弾性定数の測定

斉藤, 茂芳 / IWAMURA, K. / SAITO, S. / AKIYAMA, K. /
KURIYAMA, K. / 岩村, 国也 / 栗山, 一男 / 秋山, 喬二

(出版者 / Publisher)

法政大学工学部

(雑誌名 / Journal or Publication Title)

Bulletin of the Faculty of Engineering, Hosei University / 法政大学工学部
研究集報

(巻 / Volume)

15

(開始ページ / Start Page)

33

(終了ページ / End Page)

38

(発行年 / Year)

1979-03

(URL)

<https://doi.org/10.15002/00004163>

Ultrasonic 法による LiIn 単結晶の 弾性定数の測定

栗山一男*・秋山喬二**
斉藤茂芳**・岩村国也**

Measurements of elastic constants of single-crystal LiIn by ultrasonic pulse method

K. KURIYAMA, K. AKIYAMA, S. SAITO and K. IWAMURA

Abstract

The elastic constants of single crystal lithium indium (NaTl type : space group Fd3m) were determined at room temperature by an ultrasonic pulse-transmission technique. The values of the elastic constants, in units of 10^{11} dyne/cm² are : $c_{11}=5.589$, $c_{12}=4.169$ and $c_{14}=2.666$. The results give deviation from Born-Smith dynamic lattice theory if nearest neighbor interaction alone are considered. The value of the Debye temperature is also determined by using de Launay's tables to be 211. 2°K.

§ 1. 緒 論

Liを含む金属間化合物の中にはNaTl構造(空間群:Fd3m)を有するものが、X線および中性子回折から知られている^{1),2)}。これらの金属間化合物はFig. 1に示すように、第1隣接原子に4個の同種、4個の異種を、また第2隣接原子には6個の異種原子を配位させており、それぞれ1種類の原子の配置に着目すれば、NaTl構造はダイヤモンド構造ともCsCl構造とも異なる格子力学的性質をもつことが予想される。即ち、Na原子がより電気陰性度の高いTl原子へ価電子を1つ与え、Tl原子は sp^3 混成軌道を形成する。Tl原子はダイヤモンド型副格子を構成するが、NaTl型は同時にNa原子もダイヤモンド型副格子を構成する。したがって、Tl-Tl原子間の結合が中心的役割を果たしているとしても、Na-Tl間の結合も何等から役割を果たしているものと考えられる³⁾。

物質中の弾性波の伝播速度の測定から弾性スティフネス定数が決定でき、これを用いてYoung率、体積弾性率、剛性率およびDebye温度が求められる^{4),5),6)}。

この研究はLiIn単結晶の弾性諸定数およびDebye温度を求め、その物性的性質を究明する手

* 電気工学科 電気・電子専攻

** 計測制御専攻

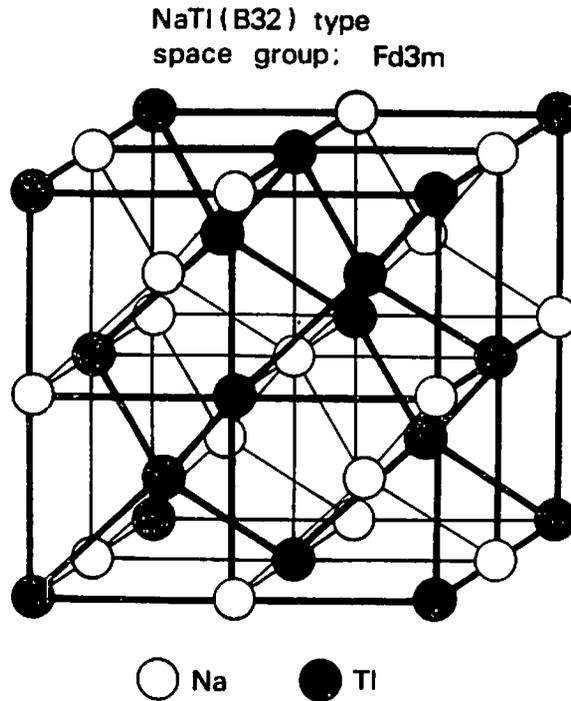


Fig. 1. NaTl structure. Each Na atom has four Na and four Tl near neighbors and six Tl next-near neighbors. The space group is Fd3m.

がかりを得るために行なった。

§ 2. 理 論

立方晶系の結晶では、独立した弾性スティフネス定数は3個で、これらは代表的な結晶方向 [100], [110] および [111] の弾性波伝播速度から求められる。それらの関係を Table 1 に示す。

立方晶での異方性因子Aは [100] 方向と [110] 方向に伝播する横波の速度 v_t の比の平方と定義される。この関係は Table 1 から式(1)で表わされる。

$$A = 2c_{44} / (c_{11} - c_{12}) \dots \dots \dots (1)$$

等方性のものに対して $A=1$ であるが、LiIn に対して $A=3.76$ となりかなり大きい。

Debye の比熱の理論によれば、Debye 温度 θ は式(2)で与えられる。

$$\theta = \frac{h}{k} \nu_m = \frac{h}{k} \nu_m \left(\frac{9N}{4\pi V} \right)^{\frac{1}{3}} \dots \dots \dots (2)$$

ここで h はプランク定数、 k はボルツマン定数、 N は体積 V 中に含まれる原子数、 ν_m は格子の熱振動の最大振動数、 ν_m は平均音速である。

固体中の弾性波は3個の独立した伝播モードをもち、一般に、それぞれ独自の伝播速度をもっている。これらの速度は結晶方向に依存しているので、平均音速 ν_m は、すべての方向に対する

Table 1. Relations between the sound velocities and the elastic stiffness constants for cubic crystals. K : wave vector, V_{sl} : longitudinal wave velocity, V_{st} : transverse wave velocity, ρ : density of specimen.

	Direction of K	Displacement direction in cubic crystals			
		[100]	[110]	[111]	
$V_{sl}^2 \rho$	[100]	c_{11}	.....	.....
	[110]	.....	$\frac{1}{2}(c_{11}+c_{12}+2c_{44})$	.....
	[111]	.....	.....	$\frac{1}{3}(c_{11}+2c_{12}+4c_{44})$	

	Direction of K	Displacement direction in cubic crystals			
		[010]	[001]	$[\bar{1}\bar{1}0]$	$[0\bar{1}\bar{1}]$
$V_{st}^2 \rho$	[100]	c_{44}	.....	.....	.....
	[110]	.....	c_{44}	$\frac{1}{2}(c_{11}-c_{12})$	.....
	[111]	.....	.....	.....	$\frac{1}{3}(c_{11}-c_{12}+c_{44})$

それぞれのタイプの波の寄与の和であり、式(3)で表される。

$$v_m = \left[\int \left\{ \left(\frac{1}{v_1} \right)^3 + \left(\frac{1}{v_2} \right)^3 + \left(\frac{1}{v_3} \right)^3 \right\} \frac{d\Omega}{4\pi} \right]^{-\frac{1}{3}} \dots\dots\dots(3)$$

ここで $d\Omega$ は立体角である。

このように Debye 温度および弾性諸定数は、結晶内の弾性波伝播速度と関係があることがわかる。

弾性スティフネス定数から平均音速を容易にしかも正確に求める方法がいくつか報告されている^{5),6)}。この実験では、結晶内の弾性波の伝播速度から弾性スティフネス定数を求め、それにより弾性諸定数および Debye 温度を求めた。

§ 3. 実験および結果

この実験に使用した測定装置のブロックダイアグラムを Fig. 2 に示す。

パルス発生器は 450 Hz のマルチバイブレータから成り、その出力は、微分整流回路を通してショットパルスに変換される。このパルスは送信用水晶振動子を駆動し、電気信号が超音波に変換され、それが試料中を伝播し、受信用水晶振動子で再び電気信号に変換される。これを広帯域増幅器で増幅し、ブラウン管オシロスコープの垂直端子に印加し、一方水平端子には、可変遅延回路を通した基本振動を印加する。

純粋なたて波と横波を発生するために、それぞれ直径 0.8 cm の X-cut と Y-cut 1 MHz 用水

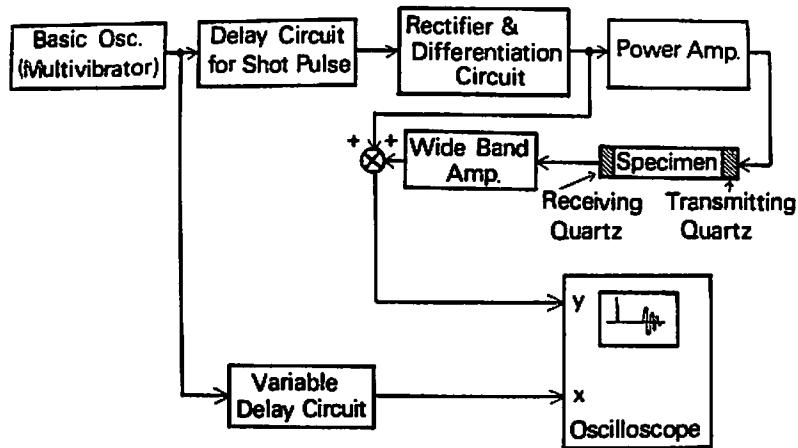


Fig. 2. The block diagram of the system used in the present investigation

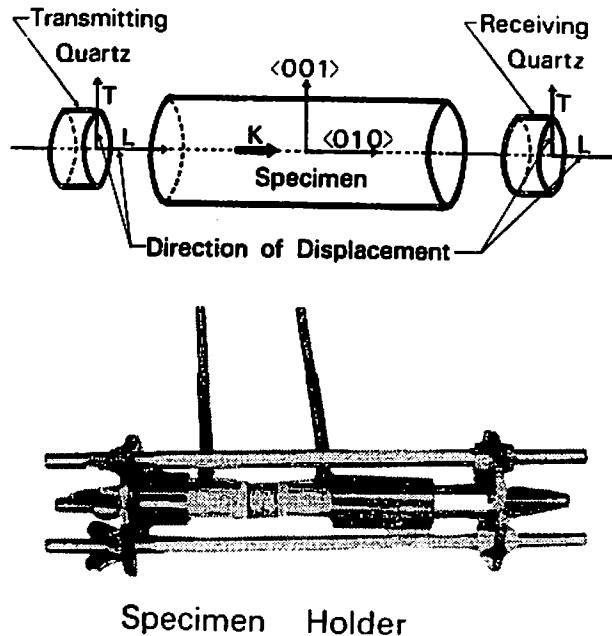


Fig. 3. The arrangement of the quartz and the specimen : T and L are the direction of displacement, and Specimen holder.

晶振動子を用いた。

LiIn 試料はポラロイド背面反射ラウエ法により、すみやかに結晶方向の同定を行い、その方向に垂直な2面が平行になるように磨きあげた。

この実験では、結晶の [001] 方向と [110] 方向について伝播速度を測定した。その長さは [001] 方向が 0.7699 cm, [110] 方向が 0.7261 cm である。結晶軸の配向および水晶振動子の取り付けの様子を Fig. 3 に示す。

また (110) 面内を伝播する音波の偏向方向と音速の関係を、弾性定数値および密度を用いて計算⁷⁾ すると Fig. 4 のようになる。音波の偏向方向が [001] のとき準横波 (quasi-transvers

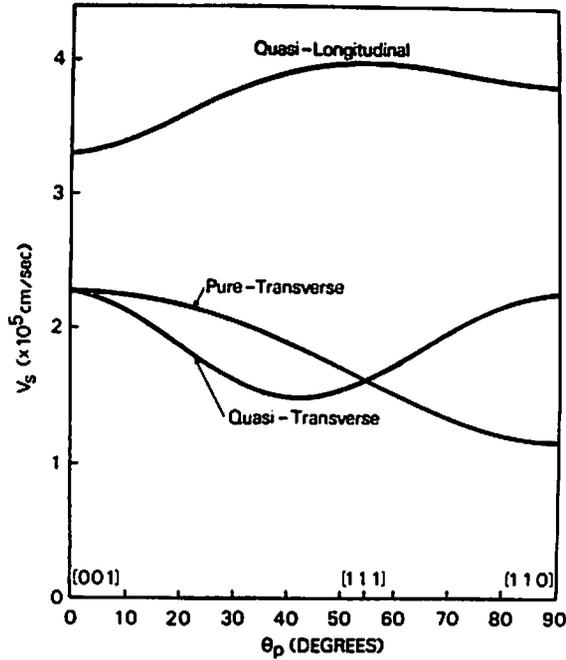


Fig. 4. Direction dependences of the sound velocities in the $[1\bar{1}0]$ plane of LiIn

Table 2. Sound velocity and elastic constants of LiIn measured at room temperature.

Sample	Length (cm)	$V_{sl}(\text{long.})$ (10^5 cm/sec)	$V_{st}(\text{trans.})$ (10^5 cm/sec)
A(011)	0.7261	3.825	
B(001)	0.7699	3.292	2.274
Elastic stiffness constant (10^{11} dyn/cm ²)		C_{11} 5.589	C_{12} 4.169
Elastic compliance constant (10^{-12} cm ² /dyn)		S_{11} 4.934	S_{12} -2.107
Mean bulk modulus		4.634×10^{11} dyn/cm ²	
Mean shear modulus		1.576×10^{11} dyn/cm ²	
Mean Young's modulus		3.875×10^{11} dyn/cm ²	
Anisotropy factor		3.76	

waue) と純横波 (pure-transvers waue) の音速は一致し、偏向角が $[001]$ から増加するにしたがって準横波の成分が加わり、 $[111]$ で再びこれらの波の成分は一致する。さらに $[110]$ へ増加すると再び分離してくることがわかる。特定方向、即ち、 $[001]$ 、 $[110]$ および $[111]$ への偏向は、純粋な横波とたて波の成分のみが現われることは理論 (Table 1) のところで論じた通りである。測定結果を Table 2 に示す。

§ 4. 結 論

LiIn 単結晶の音速測定より Table 2 のような弾性諸定数を得た。さらにこれらの測定値を用いていくつかの方法により Debye 温度を算出した結果を Table 3 に示す。

これによると LiIn の Debye 温度は、211°K に集中している。弾性スティフネス定数から Debye 温度を計算するのに最もよく用いられるのは、de Launay の表を使う方法である。したがって LiIn の Debye 温度として 211.2°K を提示する。

Table 3. Results of using various methods to calculate the Debye temperature of LiIn.

Method	θ of LiIn (K)
Table (de Launay)	211.2
Graph (Marcus)	210.0
Power series expansion	211.0
Graph (Leibfried)	210.3
Kubic harmonic expansion	212.3
Voight-Reuss-Hill techniques	217.0

なを、上記結論の他、格子の力学的な考察を行い一定の結論を得た^{3), 8)}。

謝 辞

この研究を行うにあたり、電気工学科 電気・電子専攻 正木知己教授、野上茂吉郎教授、計測制御専攻 小口雄康教授、瀬部孝教授に有益な御指導を頂いた。深く感謝の意を表す。

本研究の一部は、昭和 50 年から 53 年度法政大学特別助成金により行なわれた。

文 献

- 1) E. Zintl and G. Brauer, *Z. Phys. Chem.* 20, 245 (1933).
- 2) K. Kuriyama and N. Masaki, *Acta Crystallogr. B* 31, 1793 (1975).
- 3) K. Kuriyama and S. Saito, *Phys. Rev. B* 13 1528 (1976).
- 4) C. Kittel, *Introduction to Solid State Physics*, (John Wiley and Sons Inc, New York 1971 4th ed.) p. 133.
- 5) G. A. Alers, *Physical Acoustics*, edited by W. P. Mason (Academic, New York, 1955), Vol. III-B, p-1.
- 6) O. L. Anderson, *Physical Acoustics*, edited by W. P. Mason (Academic, New York, 1955), Vol. III-B, p. 43.
- 7) 浜口知尋：固体物性 上 (丸善 1975) p. 91
- 8) K. Kuriyama, S. Saito and K. Iwamura, *J. Phys. & Chem. Solids.* (in press [1979])