

180°, 90R 散乱配置を用いた Brillouin 散乱計測による GaN の弾性定数測定 Elastic constants of a GaN single crystal determined by Brillouin scattering technique with the combination of 180° and 90R scattering geometries

○市橋 隼人¹, 柳谷 隆彦², 高柳 真司¹, 川部 昌彦¹, 松川 真美¹ (1. 同志社大, 2. 名工大)

○Hayato Ichihashi¹, Takahiko Yanagitani², Shinji Takayanagi¹, Masahiko Kawabe¹ and
Mami Matsukawa¹ (Doshisha Univ.¹, Nagoya Inst. Tech.²)

E-mail: mmatsuka@mail.doshisha.ac.jp

1 はじめに

Brillouin 散乱法 (BR 散乱法) とは音響フォノンによる光の非弾性散乱を利用した GHz 帯域の音速測定法である。本測定法では、使用する光学散乱配置によって測定する音波の伝搬方向が決まる。この音速を算出するためには試料の屈折率を必要とする場合が多い。しかし、2 つの散乱配置を組み合わせることで屈折率を用いずに一軸異方性材料の音速を測定できる^[1,2]。本研究では、この散乱配置の組合せを用いて一軸異方性の GaN 単結晶の伝搬音速を測定し、本測定法の精度について検討した。またアルキメデス法で密度を測定し、弾性定数を算出した。

2 実験方法と結果

本実験では m 面の GaN 単結晶 (Mitsubishi Chemical Co., 5×8×0.34 mm³) を使用した。

試料面内方向に伝搬する縦波・横波音速 $v_{L,S}^{\theta A}$ は Fig. 1(a) に示す RI θ A 散乱配置で測定した^[3]。ただし、 $f_{L,S}^{\theta A}$ は BR 散乱光のシフト周波数、 θ は散乱角、 λ_i はレーザ光波長 (514.5 nm)、 ϕ は面内の回転角であり $\phi=0^\circ$ で分極軸の方向が散乱面と平行となる。

$$v_{L,S}^{\theta A}(\phi) = f_{L,S}^{\theta A}(\phi) \frac{\lambda_i}{2 \sin(\theta/2)} \quad (1)$$

このとき $v_{L,S}^{\theta A}(0^\circ)$ と $v_{L,S}^{\theta A}(90^\circ)$ は $(c_{33}^E/\rho)^{1/2}$ と $(c_{11}^E/\rho)^{1/2}$ に相当し、 $v_{S}^{\theta A}(90^\circ)$ は $(c_{44}^E/\rho)^{1/2}$ に相当する。また、試料法線方向に伝搬する縦波・横波音速 $v_{L,S}^C$ は Fig. 1(b,c) に示す 90R 散乱配置と 180° 散乱配置を組合せて測定した。ただし、 $f_{L,S}^{90R}$ と f^{180} は各散乱配置を用いた際のシフト周波数である。

$$v_L^C = \sqrt{(f^{180})^2 - (f_L^{90R})^2} (\lambda_i/\sqrt{2}) \quad (2-1)$$

$$v_S^C(\phi) = v_L^C(f_S^{90R}(\phi)/f_L^{90R}) \quad (2-2)$$

このとき v_L^C は $(c_{11}^E/\rho)^{1/2}$ に相当し、 $v_S^C(90^\circ)$ は $(c_{66}^E/\rho)^{1/2}$ に相当する。

GaN 単結晶の伝搬音速と弾性定数の測定結果を Table I に示す。誤差はそれぞれ $\pm 3\sigma$ を示す。密度は 6065 ± 68 kg/m³ となった。弾性定数 c_{13}^E は RI θ A 散乱配置で測定した縦波と横波の

音速 $v_{L,S}^{\theta A}(70-186^\circ)$ をフィッティングすること
で求めた。

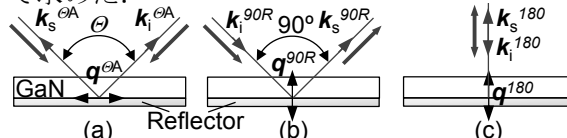


Fig. 1 (a) RI θ A, (b) 90R and (c) 180 scattering geometries. q , k_i and k_s are the wave vectors of phonon, incident light and scattered light, respectively.

3 考察とまとめ

Table I に示すように RI θ A 散乱配置と組合せ測定による音速 $(c_{11}^E/\rho)^{1/2}$ は共に近い値を示したが、誤差は 15 倍ほど組合せ測定の方が大きかった。そのため、密度の誤差が小さい場合は弾性定数の誤差も同程度となる。従って、この組合せ測定の有効数字は 2-3 桁である。

本研究で用いた GaN 単結晶の抵抗率 ($2 \times 10^{-4} \Omega \cdot m$) では GHz 帯域でも圧電効果に起因する弾性定数の stiffening は起こらない^[4]。弾性定数はこれを考慮して算出した。また、本測定値は同試料で大橋らや中村らが報告した圧電 stiffening が起こらない低周波域の c_{11}^E (360.92, 359.4 GPa), c_{66}^E (114.92, 115.1 GPa) とよい一致を示した^[5,6]。

Table I Acoustic wave velocities and elastic constants for a GaN single crystal

Acoustic wave velocities (m/s)					
RI θ A scattering geometry			90R-180 combination		
$(C_{11}^E/\rho)^{1/2}$	$(C_{33}^E/\rho)^{1/2}$	$(C_{44}^E/\rho)^{1/2}$	$(C_{11}^E/\rho)^{1/2}$	$(C_{66}^E/\rho)^{1/2}$	
7694 (± 9)	8053 (± 9)	4018 (± 5)	7692 (± 141)	4381 (± 81)	
Elastic constants (GPa)					
C_{11}^E	C_{12}^E	C_{13}^E	C_{33}^E	C_{44}^E	C_{66}^E
359 (± 4)	126 (± 10)	94 (± 3)	393 (± 5)	98 (± 1)	116 (± 4)

参考文献

- [1] J. K. Krüger, et al: Colloid Polym. Sci., **264** 403 (1986)
- [2] S-I. Tomohiro, et al: Jpn. J. Appl. Phys. **43** 2916 (2004)
- [3] J. K. Krüger, et al: J. Phys. D: Appl. Phys. **31** 1913 (1998)
- [4] H. Ichihashi, et al: IEEE TUFFC, **61** 1307 (2014)
- [5] Y. Ohashi, et al: Proc. 2011 IEEE Ultrason. Symp., **32** 52 (2011)
- [6] N. Nakamura, et al: J. Appl. Phys., **111** 013509 (2012)