

ScAlN薄膜トランスデューサを用いたBrillouin散乱光の増強

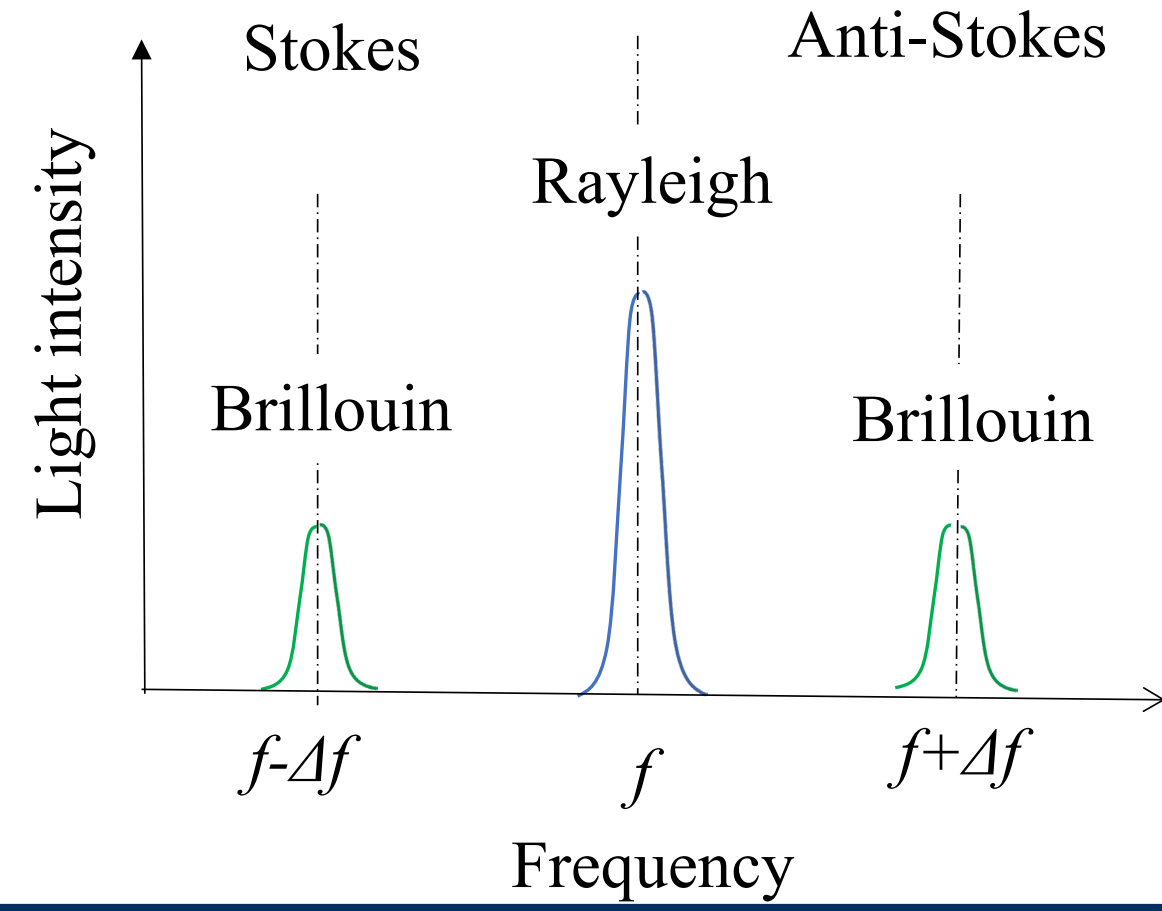
稲本 脩人 河藤 千香子 松川 真美 (同志社大学)

研究背景

Brillouin散乱^[1]

- 弾性散乱 (Rayleigh 散乱)
- 非弾性散乱 (Brillouin 散乱)

媒質中の熱揺らぎである熱フォノンとフォノンの非弾性衝突により周波数がシフトする散乱現象



Brillouin散乱計測

- GHz領域の音速測定
- 非破壊 非接触測定
- 局所的測定

Brillouin散乱法の現状^[2]

熱フォノンからのBrillouin散乱光は非常に弱く集光するのに時間がかかる。

Brillouin散乱光を測定する干渉計は温度変化や振動に非常に敏感

測定精度の低下

長時間の計測の必要性がないこと

Brillouin散乱光の増強

Brillouin散乱法の過去の研究と問題点^[3-4]

Brillouin散乱の増強を行うためにScAlN薄膜と垂直に出力される高周波超音波を利用

約900MHzのBrillouin散乱光を8670倍にすることに成功

問題点

生体組織などの様々な形状を有する試料での計測が困難

問題点の一例^[5]

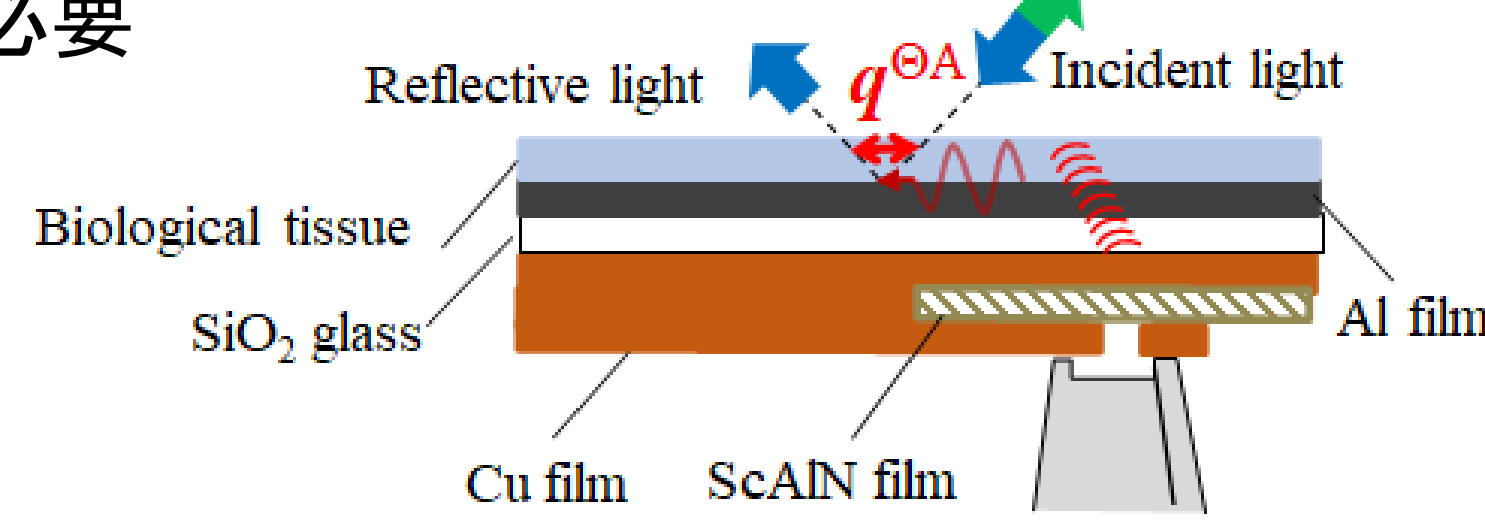
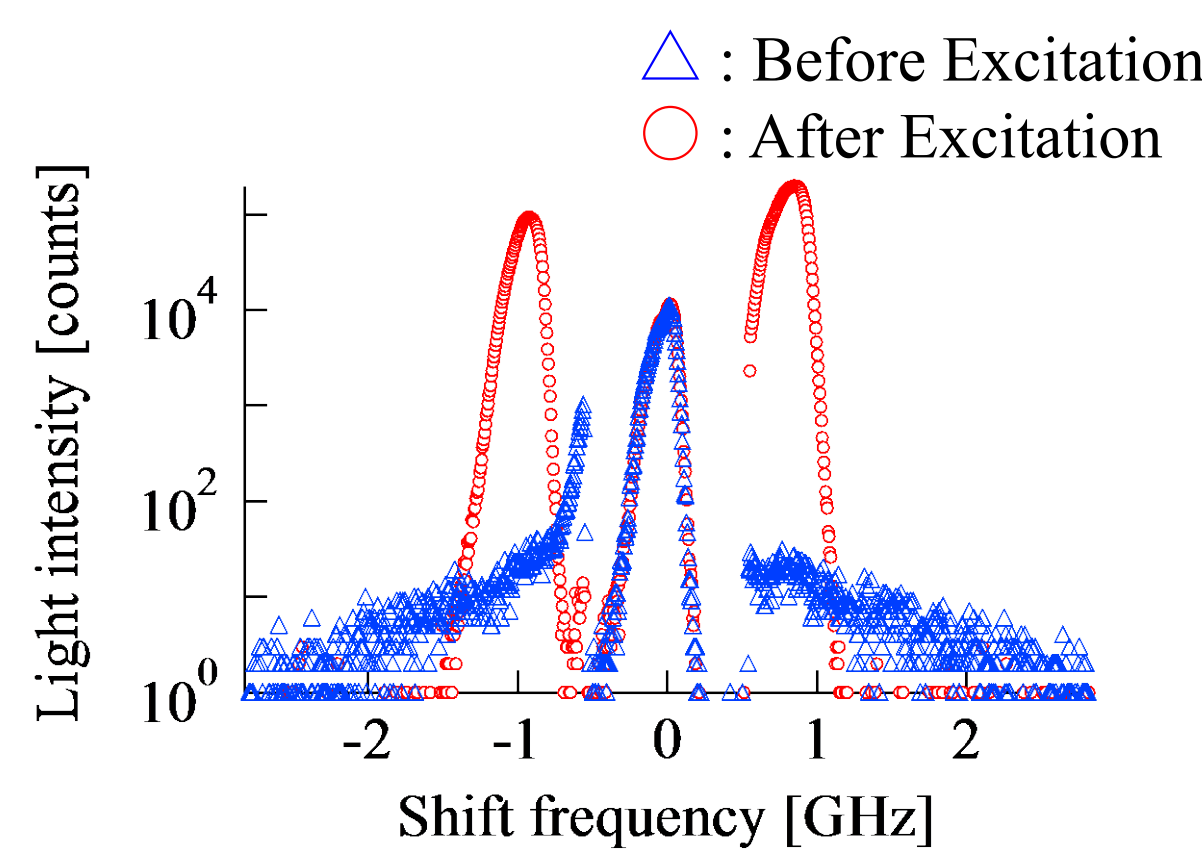
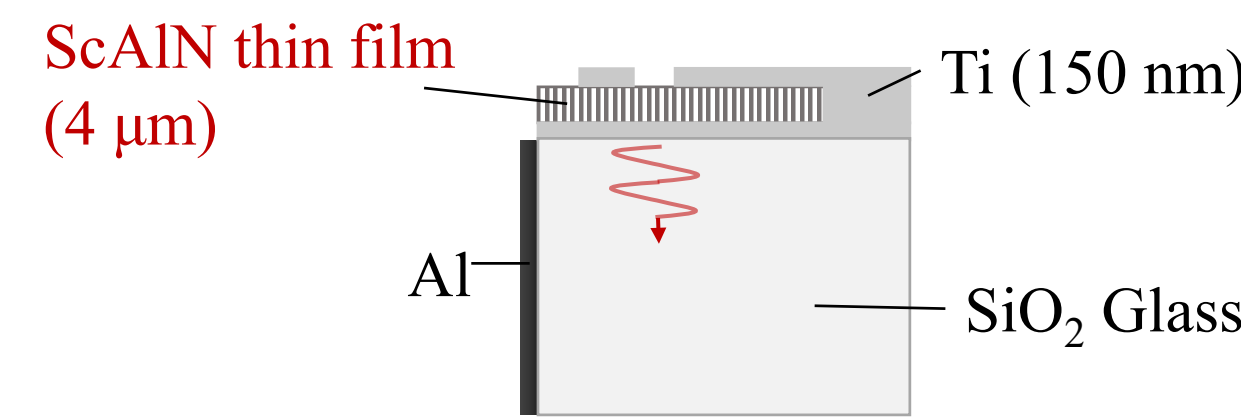
RIOA散乱配置ではレーザー光を反射させ右図の $q^{\Theta A}$ 方向に音波を伝搬させることが必要

不透明な試料(骨など)ではレーザー光を透過させるため薄くすることが必要

散乱方向に音波を伝搬させる圧電薄膜を製膜することが困難

本研究目的

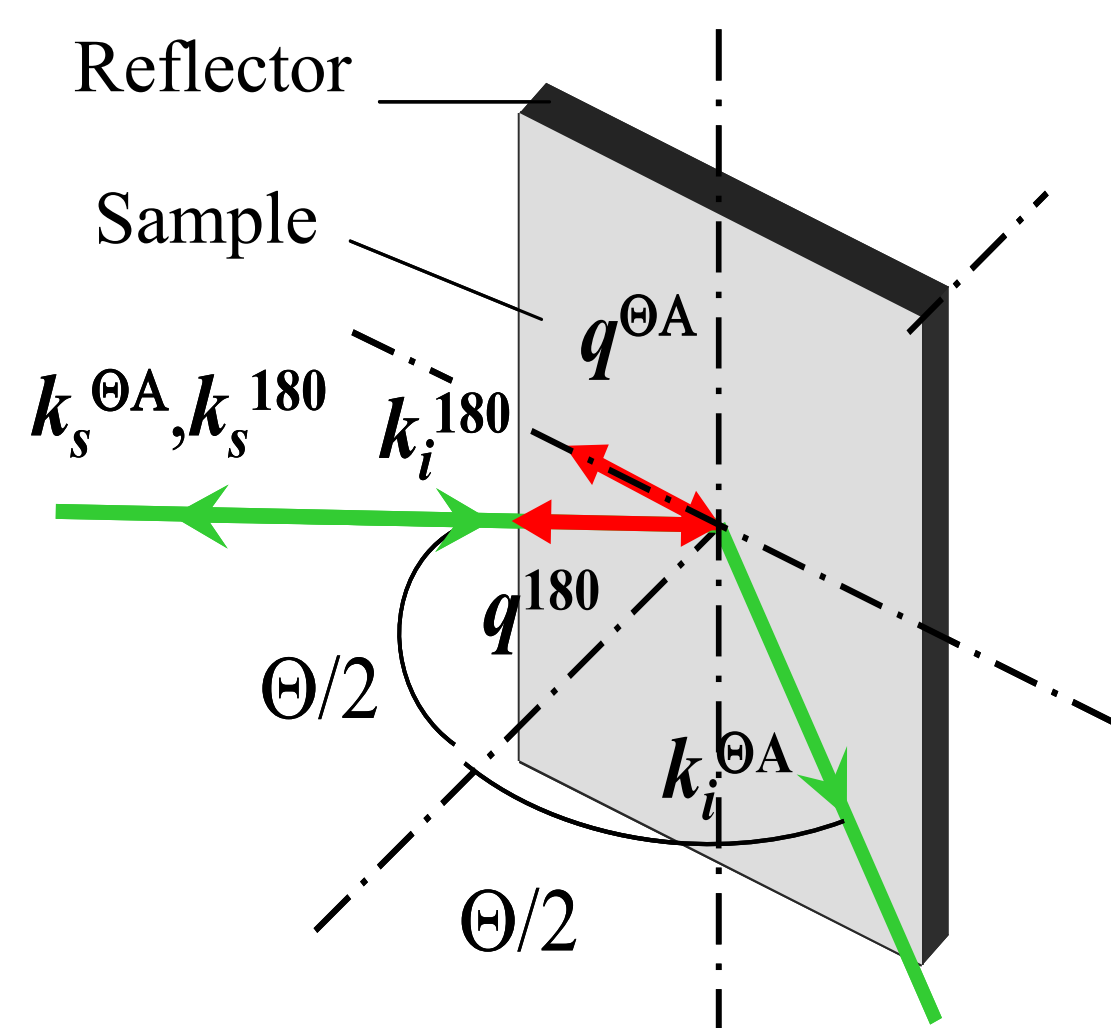
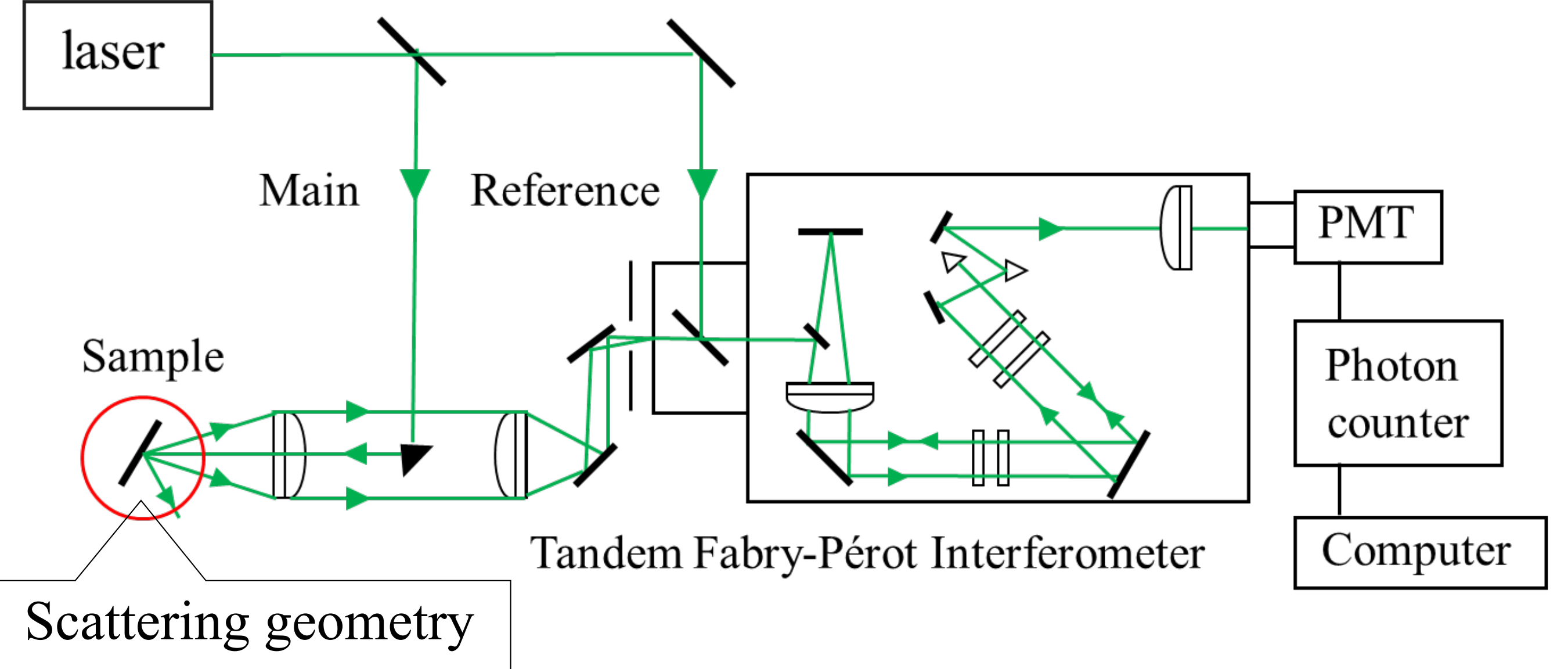
C軸が斜めに配向したScAlN薄膜から斜めに出力される高周波超音波を利用して、Brillouin散乱光の改善を試みる。



本研究の最終目標

実験方法

散乱光観測システム^[6]



- k_i : The wave vector of the incident light.
- k_s : The wave vector of the scattered light.
- q : The wave vector of phonon
- $\Theta/2$: The angle between incident light and normal line of sample surface.

$$v^{\Theta A} = f^{\Theta A} \cdot \lambda^{\Theta A} = f^{\Theta A} \frac{\lambda i}{2 \sin(\Theta/2)}$$

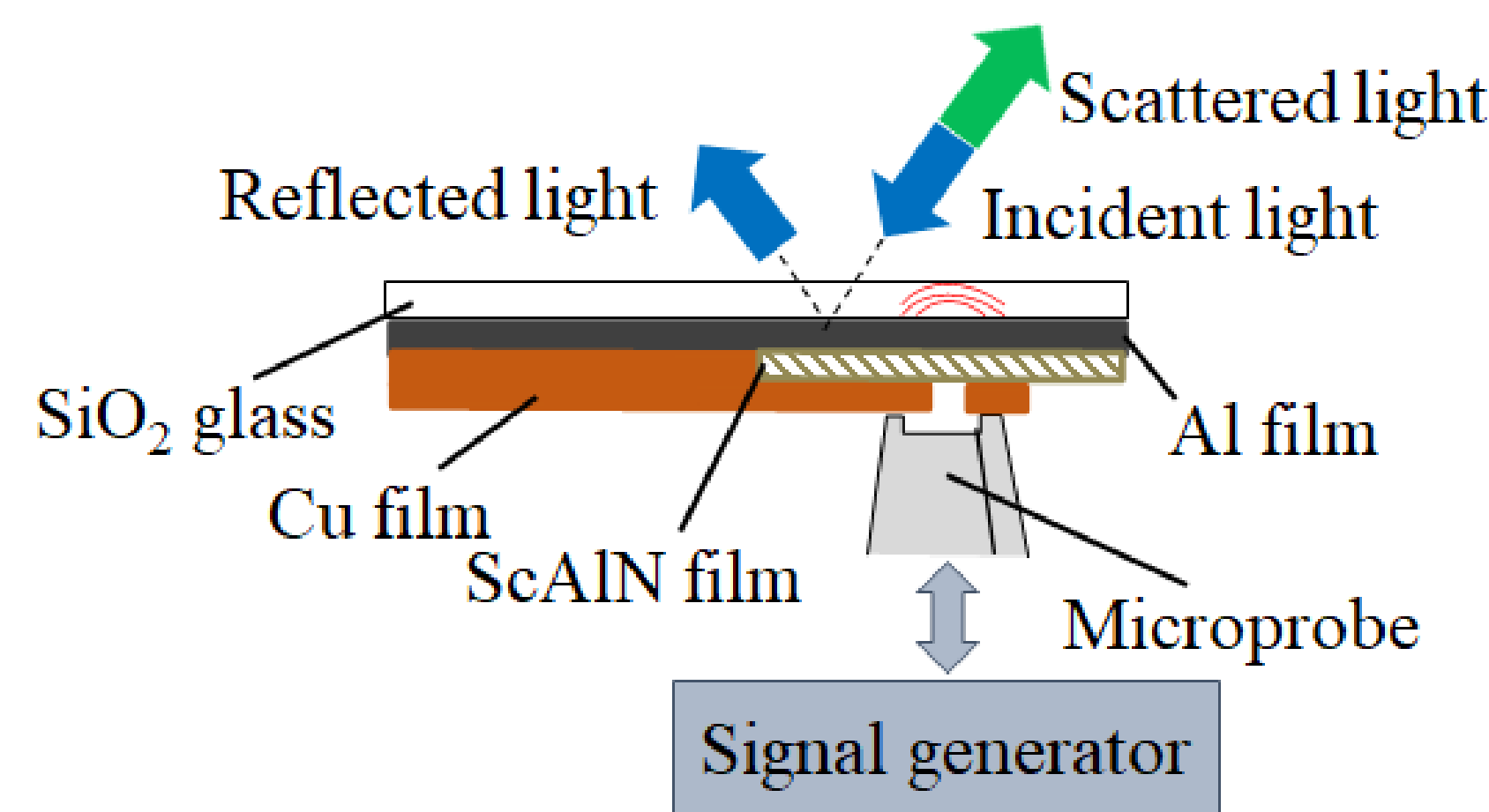
$f^{\Theta A}$: Shift frequency

音響フォノンの波長は、散乱角 $\Theta/2$ で決まる

角度 $\Theta/2$ を固定し、周波数シフトを測定する
上記の式から試料面内方向の音速を求めることができる

測定試料

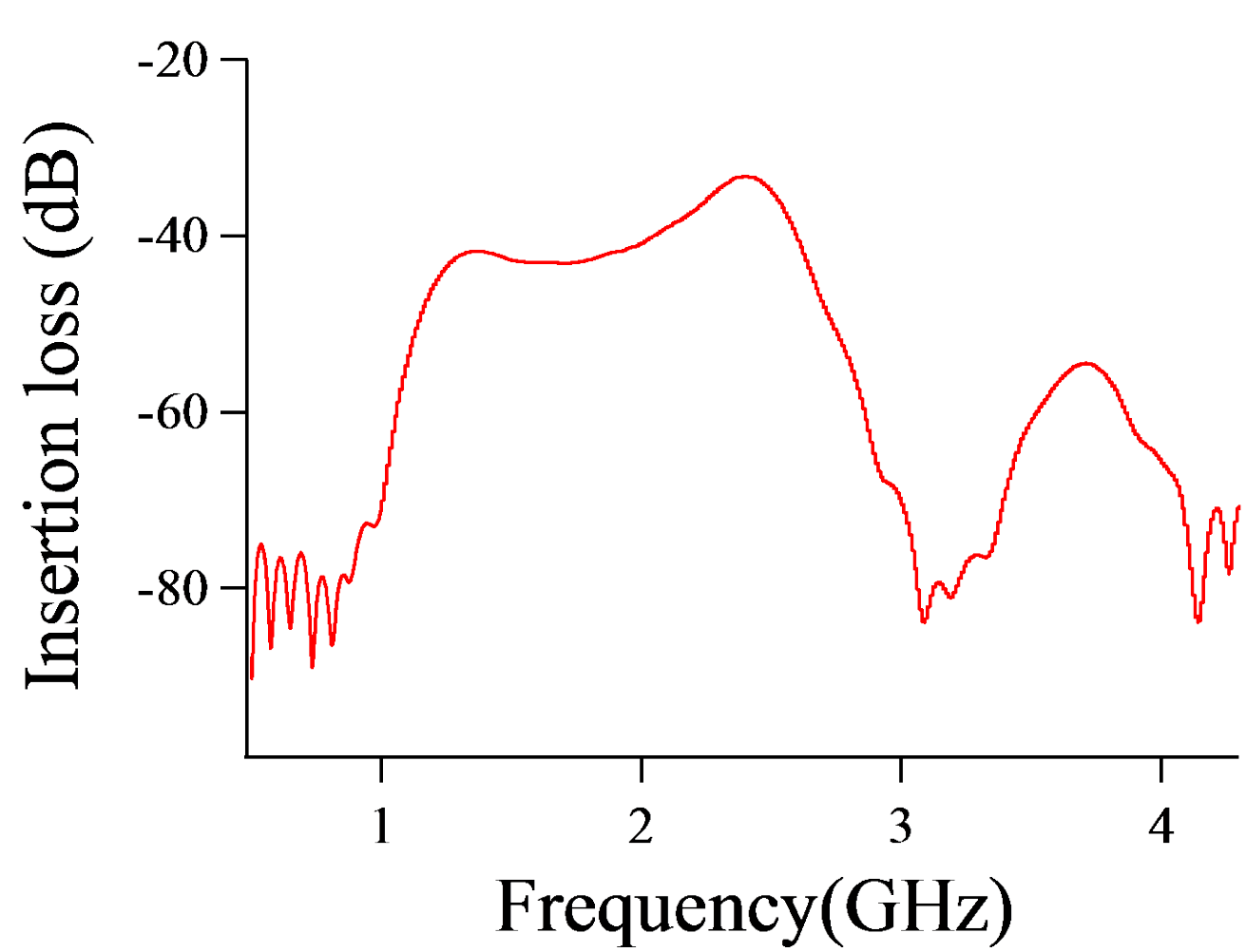
- 石英ガラス試料(厚み0.5mm, 音速6000m/s)の片面にScAlN薄膜をRFマグネトロンスパッタ法を用いて製膜
- ScAlN薄膜と光学的測定位置の距離が $100\mu\text{m}$



- Frequency
Longitudinal: 2.2GHz
- Input power
16dBm=39.81 mW
- Angle of incident
Longitudinal wave velocity: 6000 m/s
 $\lambda_i = 532 \text{ nm}$
- $\frac{\Theta}{2} = 5.7^\circ$ (Longitudinal)

実験結果

ScAlN薄膜の挿入損失

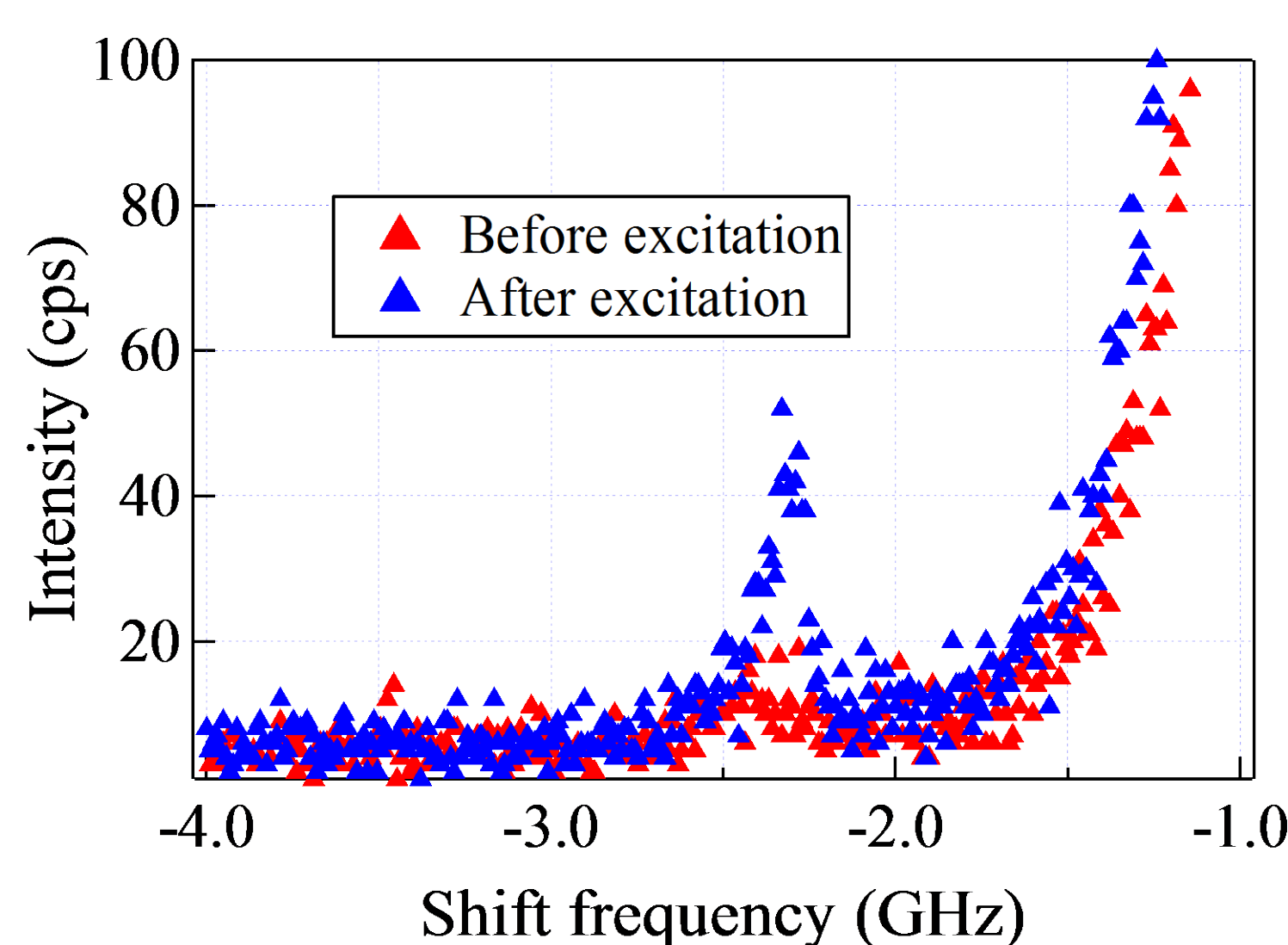


ScAlN薄膜トランスデューサの縦波挿入損失

- 共振周波数 $f = 2.4 \text{ GHz}$

本実験では、RIOA散乱配置の角度を調節することが難しいことから、共振周波数の2.4GHzではなく、2.2GHzを使用

Brillouin散乱光の増強前後の比較



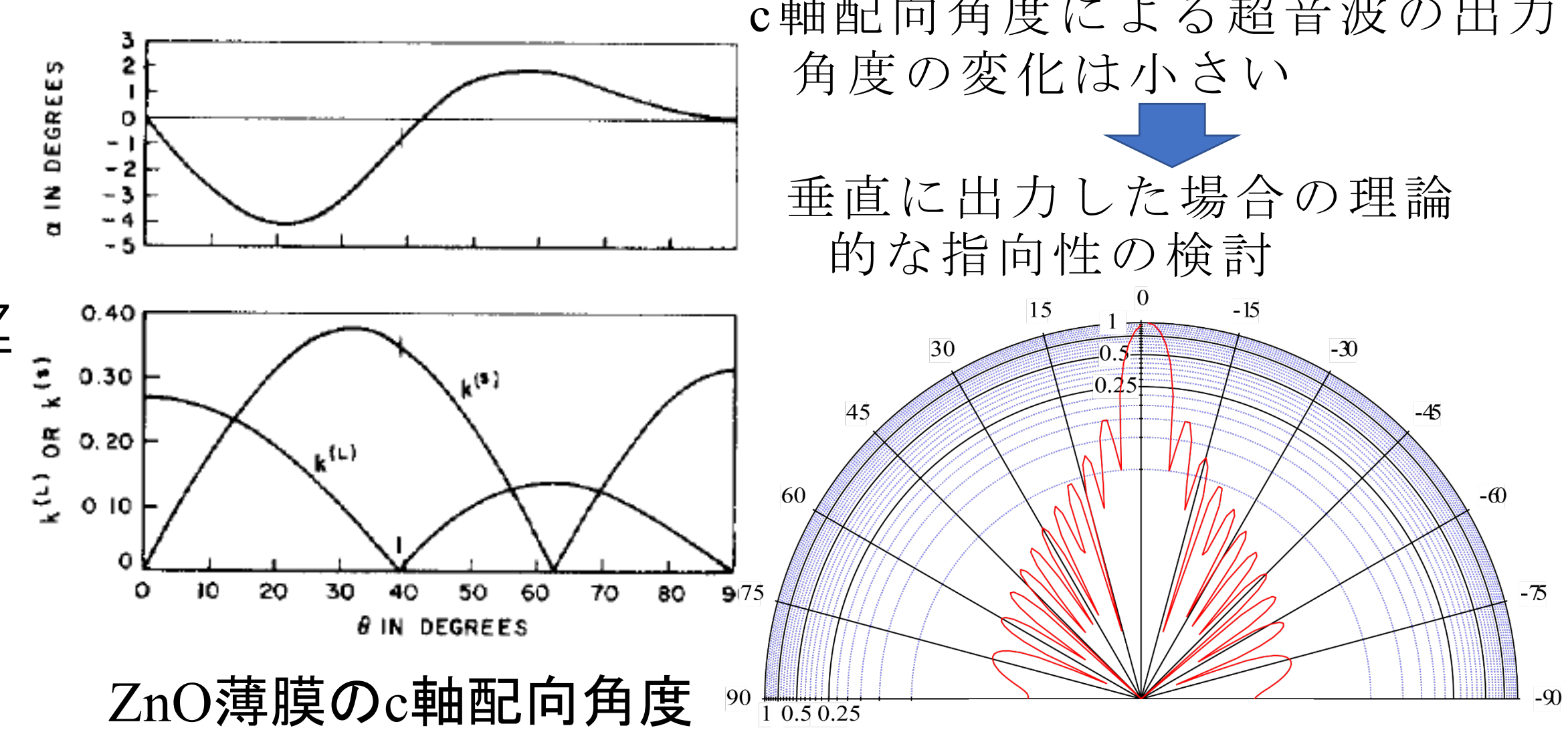
Brillouin散乱光増強前後の比較

- 石英ガラス中のBrillouin散乱光を約4倍に増強することに成功
- 圧電薄膜から斜めに出力した高周波超音波を用いてBrillouin散乱光を増強可能であることが示された。

本研究の問題点と今後

- Brillouin散乱光の増強率が小さい
- 現状では生体組織などの様々な形状に対応できない

高周波超音波の指向性の検討



ZnO薄膜のc軸配向角度と超音波の出力方向^[7]

- ScAlN薄膜の指向性は非常に強いが斜めや横方向にも出力がある。
- c軸配向を斜め方向にすると超音波の出力方向も変化する。

Brillouin散乱の増強

- システムや圧電薄膜の改良が必要
- 石英薄板上に設置した試料でのBrillouin散乱光増強を目指す。

謝辞

ScAlN圧電薄膜トランスデューサの成膜では、同志社大学 高柳真司助教にご協力いただいた。ここに謝意を表す。

まとめ

本報告では、c軸が斜めに配向したScAlN薄膜から斜めに出力される高周波縦波超音波を利用して、Brillouin散乱光の改善を試みた。その結果Brillouin散乱光を約4倍にすることに成功した。

Reference

- [1] Brillouin, Ann. Phys. 17, pp.88-96, 1922
- [2] T. Yanagitani, et al., J. Phys. D: Appl. Phys., Vol. 46, art. no. 315305, 2013.
- [3] M. Kawabe et al., Proc. IEEE Ultrason. Symp., 1-4 (2015).
- [4] 吉田他, 日本音響学会2007春季研究発表会
- [5] M. Kawabe, et al., IEEE, transactions on sonics and ultrasonics, Vol. 65, No.10, 2018
- [6] J. K. Krüger, et al., J. Phys. D: Appl. Phys., Vol. 31, pp.1913-1917, 1998.
- [7] N. F. Foster, et al., IEEE, transactions on sonics and ultrasonics, Vol. su-15.
- [8] 超音波便覧編集委員会 編, 超音波便覧, 丸善株式会社 (1994).