高周波強力超音波トランスデューサ用圧電結晶膜の製膜とその評価

Deposition of epitaxial piezoelectric films for high intensity and high frequency ultrasonic transducers

桐蔭横浜大 [1]，紀州技研工業㈱[2]，東京工業大学 [3]
○石河睦生 [1]，内田庸助 [1]，塚本絢穂 [1]，齋藤 直 [1]，遠藤聡人 [2]，
安井伸太郎 [3]，田原麻梨江 [3]，舟窪 浩 [3]，黒澤 実 [3]
Toin University of Yokohama [1]. Kishu Giken Kogyo CO., ltd.[2]
Tokyo Institute of Technology [3].
°Mutsuo Ishikawa[1], Yosuke Uchidam[1], Ayaho Tsukamoto[1], Nao Saito[1], Akito Endo[2],
Shintaro Yasui[3], Marie Tabaru[3], Hiroshi Funakubo[3], Minoru Kurosawa[3]
E-mail: m.ishikawa@toin.ac.jp

【はじめに】

強力超音波は洗浄技術や霧化技術、治療技術に活用されており、近年ではそれらの微細化を目指して強力超音波の高周波化が重要な研究課題となってきている。しかし現状では、水中において 10MHz 以上の高周波で強力超音波を連続放射できる超音波トランスデューサの作製は困難である。またキャビテーション発生の閾値が上昇することからも報告及び検討例は少ない。そこで本研究グループは強力超音波の連続的な放射を目的として、エピタキシャル $KNbO_3$ 膜を用いた HF 帯、VHF 帯用超音波トランスデューサの開発を行っている。今回は試作した超音波トランスデューサを用いて、水中にて 5MHz～20MHz での送波音圧と音響放射圧の測定結果および観測された音響的な非線形現象についての報告を行う。

【実験】

$KNbO_3$ は高い圧電性を示し、またキュリー点が 440 度程度であることから連続的に大きな機械的出力を得ることを目的とした強力超音波トランスデューサ材料として期待されるものである。そこで水熱合成法を用いて、単結晶基板上にエピタキシャル成長させた $KNbO_3$ を製膜 [1)] し、実効的な絶縁破壊電界強度を有し且つ優れた圧電特性を示す $KNbO_3$ 圧電結晶膜を得た。圧電縦効果による厚み振動の共振周波数を HF 帯に設定するためにエピタキシャル $KNbO_3$ 圧電結晶膜を目的の厚みまで結晶成長させ、厚膜化後は単結晶基板上から剥離させることで自立膜を得た。次に $KNbO_3$ 圧電結晶膜の両面に金を真空蒸着法により形成し、上部電極と下部電極として信号線に接続させた。また水中での音響放射面に振動板や音響マッチング層は設けず、対して反対側となる背面は空気構造となるようニードル型超音波トランスデューサとして試作した。

【結果】

厚みが 3 種類異なる $KNbO_3$ 圧電結晶膜を用いて試作した超音波トランスデューサを水中に固定し、超音波送受信実験により共振周波数の測定を行った結果、6MHz, 12MHz, 19MHz であることが分かった。次に駆動周波数を共振周波数に固定しバースト波の電圧を試作超音波トランスデューサに印加し、音響放射面の振動速度をレーザードップラー振動計により測定した結果、4m/s を超える大振幅動作が確認された。同条件において水中で超音波送信時の音圧をハイドロフォンを用いて測定した結果、遠距離音場においての送波音圧は 3MPa 以上であることが分かり、また、高出力動作時に発生した直進的な音響流から音響放射圧を算出した結果は 230kPa 以上であった。いずれの結果も $KNbO_3$ 圧電結晶膜を用いて試作した超音波トランスデューサは HF 帯において強力超音波を放射していることを示した。そこで音響流発生の他にも、非線形現象として観察されたマイクロ～ナノバブルの発生と圧壊、衝撃波の発生、液面から液滴吐出についての報告を行う。

References

[1] M. ISHIKAWA,*etal*, Jpn. J. Appl. Phys., vol. 49 07HF01, 2010.