

【目的】超音波を用いた医療機器は超音波診断機（超音波エコー）を始め、超音波メス、超音波ネブライザー、超音波マッサージ治療器、超音波骨折治療器など非常に幅広く存在する。これらの医療機器はどの分野においても先進医療を提供する際に必要不可欠である。その超音波医療機器の更なる発展にて、いままでは不可能であったことを実現したり、メスを入れなければ分からないことが分かるようになったりと、患者へ更なる安全安心な医療を提供することを可能とする。超音波医療機器がさらに高性能化するためには、超音波発生材料の進化が必要不可欠となることは言うまでも無い。従って本研究では、超高分解能超音波エコーを実現するために超音波発生材料の高性能化を目指して研究を遂行した。鉛系に変わるビスマス系圧電体材料を開発するに当たって、次の2点の特性を求めた。①大きな圧電 d 定数、②小さな比誘電率 (ϵ_r) に関して、超音波出力は圧電 d 定数、入力 g 定数 ($=d/\epsilon_r$ で書き表せる)、従って上記の d 定数が大きく、比誘電率が小さければ、超音波としての特性は基本的に上昇する。これを達成するために我々が発見したビスマス系圧電体を用いて実験を行った。

【方法】Bi (Zn_{1/2}Ti_{1/2}) O₃-BiFeO₃ エピタキシャル薄膜の作製には、ターゲットを必要とせず、広い組成範囲で高品質のエピタキシャル膜が作製可能な化学気相析出 (Chemical Vapor Deposition : CVD) 法を用いた。基板には、種々の結晶方位が入手可能な SrTiO₃ 単結晶を用いた。圧電性の評価を行う場合ために、圧電体膜を作製する前に下部電極として導電性酸化物の SrRuO₃ エピタキシャル膜を作製した。作製したサンプルの結晶構造は X 線回折 (XRD) を用いて評価した。構成されるサンプルの組成は蛍光 X 線分析 (WDX) にて測定した。作製したサンプルの上部に 100 μ m ϕ の白金電極を電子線蒸着法にて作製した。LCR メータによってキャパシタンスを測定することで誘電率を、圧電応答顕微鏡 (PFM) によって歪曲線を測定することで d_{33} を求めた。

【結果】この材料でも菱面体晶と正方晶の組成相境界に2相共存領域が存在していることが分かった。この薄膜の電気特性を調査した結果、2相共存領域において誘電率が最大値を示すことが分かった。誘電率の組成依存と圧電性のそれは、経験的に一致することを考えると、この組成で局所的に圧電性が大きくなることを示唆する結果であるといえる。ここで注目すべき点は、誘電率の値が最大でも100程度であり、鉛系圧電体の PZT と比べて一桁ほど小さい値である。更に圧電性を調査した結果、 d_{33} は約 80 pm/V であった。鉛系圧電体の PZT と比べて 1/2~1/3 程度の値であった。ここで超音波の性能に重要な圧電 g 定数 (d 定数/誘電率) を考える。PZT と比較して本研究で開発した材料は 3~5 倍大きなことが分かる。この結果は空間分解能の高性能化が十分に期待できる値であると考えられる。さらにキュリー温度は少なくとも 800°C 以上であることが示唆されたことから、この材料は巨大圧電性、高キュリー温度そして高絶縁性が期待される結果であることが分かった。デバイス展開することで超高分解能エコーの作製が期待できる結果であった。

作製した $x\text{Bi}(\text{Zn}_{1/2}\text{Ti}_{1/2})\text{O}_3 - (1-x)\text{BiFeO}_3$ エピタキシャル薄膜の X 線回折パターンと極点図

