

プロトン交換LiTaO₃結晶における反転ドメインの形成とその弾性表面波デバイスへの応用

中村 僖良 (東北大学)

1. まえがき

我々は、ニオブ酸リチウム(LiNbO₃)結晶素板をキュリー点付近で熱処理すると、自発分極に関して+面側で自発分極の層状の反転が生じる現象を発見した。一方、同種のタンタル酸リチウム(LiTaO₃)結晶においては、プロトン交換後にキュリー点直下で熱処理を行なうことにより一面側に同様の反転ドメインが形成されることを見出した。本財団助成の研究では、LiTaO₃結晶におけるドメイン反転現象について、プロトン交換や熱処理の条件の反転への影響を明らかにしてドメインの制御法を確立するとともに、反転機構の解明を図った。さらに、本研究代表者らが発見した弾性表面波用LiTaO₃ 36° Y-X基板に反転ドメインを形成し、その境界の電界短絡効果を利用することにより、横波弾性表面波(BGS波)の表面集中度ならびに温度特性を改善し、優れた弾性表面波デバイスが実現できることを示すなど、有意義な成果を得た。本稿では、本研究のその後の展開の概略を紹介する。

2. ドメイン反転現象の解明

(a) LiNbO₃の反転機構 LiNbO₃結晶のドメイン反転現象についても、反転機構のモデルを構築した。すなわち、熱処理中にLi⁺の外拡散により負の空間電荷層が表面付近に形成され、これを補償するように結晶表面に負の電荷が生ずる。その結果表面付近に結晶の内側を向く電界が形成される。-c面ではこの電界は自発分極P_sと同じ向きなので反転は起こらないが、+c面では電界はP_sと逆向きであるので、抗電界が小さいキュリー点付近では自発分極が反転することになる。熱処理を長く継続すると、上記のような空間電荷は板の両面から次第に内部に進み、これに伴って反転層境界も内部に移動し、やがて両面からの空間電荷が板の中央に達したとき反転層境界はそこで停止することになる。

(b) 誘電分散への空間電荷の存在の実証 プロトン交換したLiTaO₃Z板について低周波複素誘電率を600~800°Cの温度範囲で測定した。その結果、プロトン交換した試料の誘電率は50Hz以下では未処理板のそれより1桁程度大きいことがわかった。この結果は、プロトン交換により結晶内に多数のH⁺が取り込まれて空間電荷となっていることを示しており、空間電荷の存在を立証している。

(c) 屈折率変化の測定による空間電荷電界の検出 分極反転機構が正しいことを立証するには、電界が確かに生じていることを確認する必要があるが、結晶表面には補償電荷が付くので、この電界を外側から直接測定することは難しい。そこで、結晶中に電界が存在すると電気光学効果により屈折率が変化することに着目した。すなわち、空間電荷電界モデルによれば+面と-面に生ずる電界は互いに逆向きであるので、この電界による屈折率の変化は両面で逆になるはずである。そこで、光導波路特性の測定から異常光線に対する屈折率を求めた結果、プロトン交換したLiTaO₃Z板の屈折率は+c面と-c面とで差があり、板の外側を向く1.2~3.4×10⁶V/m程度の電界が存在していることが示された。この電界は分極を反転させるのに十分な値であり、空間電荷電界モデルが正しいことを裏付けている。

3. LiNbO₃弾性表面波伝搬特性への分極反転層の効果

LiNbO₃結晶の場合に、反転層が存在するときのRayleigh波およびBGS波の伝搬特性を理論的に調べた。その結果、BGS表面波はカットおよび反転層膜厚により伝搬減衰が変わるが、41°回転Y板の反転層厚×波数が2.2の場合には、表面が自由でも短絡でも伝搬減衰が非常に小さく、そのK²は11.8%と非常に大きいことが明らかになった。またRayleigh波に関しては、分極境界の電界短絡効果のため、速度は低下するが高次モードは存在せず、電位は分極境界の両側で逆符号になることがわかった。