



| | |
|--------------|---|
| Title | フォノンエコー |
| Author(s) | 奥田, 良一; 浜口, 智尋 |
| Citation | 大阪大学低温センターだより. 1977, 19, p. 1-3 |
| Version Type | VoR |
| URL | https://hdl.handle.net/11094/11518 |
| rights | |
| Note | |

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

フォノンエコー

工学部 奥田 良一

浜口智尋 (吹田 5013)

フォノンエコー (phonon echo) は spin echo, photon echo の類推から、超音波が関与した現象として付けられた名称であり、他に polarization echo, bosen echo, electric field echo 等とも呼ばれ、種々の物質において観測されている。そして、どの物質の場合にも、図 1 のように時間 $t = 0$ と τ に rf パルスを試料に印加すると、 $t = 2\tau$ に 2-パルスエコー e_2 が現われ、さらに同じ周波数の第 3 の rf パルスを $t = T$ に印加すると、 $t = T + \tau$ に 3-パルスエコー e_3 (stimulated echo とも呼ばれる) が現われる。またエコーの大きさは、 $e_2 \propto \exp(-2\tau/T_2)$, $e_3 \propto \exp[-2\tau/T_2 - (T+\tau)/T_1]$ のように表わされ、ここで T_2 , T_1 は spin echo との類似から緩和時間と呼ばれる減衰定数である。物質によっては T_1 は大きく、第 3 パルスを長時間放置後に印加しても、3-パルスエコー e_3 が現われることから、記憶素子としての応用も考えられている。

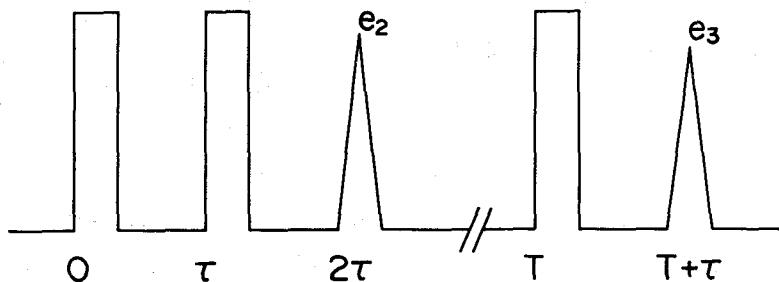


図 1.

フォノンエコーの形成は非線形現象であり、物質によって異なるいくつかの機構がある。非晶質ガラスでは、20mK 程度の極低温で原子が 2 つの谷をもつボテンシャルの間をトンネルし、このトンネル確率が非線形であることから、ZnO トランジスタでパルスを印加することによってエコーが現われる。V-Ti や Nb-Zr のような第 2 種超伝導体の粉末をコイル中に入れ、パルスを印加すると、転移温度以下の低温において励起される磁束量子が非調和振動子としてふるまいエコーが現われる。その他にも空洞共振器中での圧電性単結晶における弾性波と電界のパラメトリック相互作用によるエコー形成などがある。

ここでは、圧電性粉末におけるフォノンエコーについて述べる。この場合は、第 1 パルスによる分極と第 2 パルスの電界との相互作用により粒子に回転力が働き、その粒子の回転によって 2-パルスエコー e_2 が現われ、ある角度だけ回転した粒子は、その角度を静的に保っているので、第 3 パルスの電界と

粒子の回転角との相互作用で3-パルスエコー e_3 が現われる。つまり、第1パルスを印加すると粒子 i に分極

$$P_i \propto \exp(-t/T_2) \cos \Omega_i t \quad (\Omega_i: \text{固有振動数})$$

が生じる。この分極と電界方向との角度を θ_i とすると、観測される信号 S は $S = \sum_i P_i \cos \theta_i$ であり、粒子により Ω_i , θ_i は異なるので第1パルス印加後は $S=0$ であり、第1パルスだけではエコーは現われない。次に $t=\tau$ に第2パルスを印加すると、粒子は角度

$$\theta'_i \propto \exp(-\tau/T_2) \cos \Omega_i \tau$$

だけ回転し、 $S = \sum_i P_i \cos(\theta_i + \theta'_i)$ は $t=2\tau$ で $S \neq 0$ となり、2-パルスエコー e_2 が現われる。さらに第3パルスを $t=T$ に印加すると、分極と電界方向との角度は $\theta_i + \theta'_i$ のままであるから、3-パルスエコー e_3 が $t=T+\tau$ に現われる。この機構で形成されるエコーは、他の機構によるエコーよりも大きく、室温でも測定が容易であることから広く研究されている。

図2は測定装置であり、試料はシルバーベーストを付けて電極としたセル中に入れてあり、温度は粉末中に挿入した熱電対で測定する。rfパルスはパルスマジュレータから試料に印加し、信号はレシーバーで検出する。

図3は水晶、ADPおよびロッシェル塩の粉末（粒径50~100 μm ）での2-パルスエコー e_2 の温度依存性である。エコーはrfパルスの周波数が10~100MHzの範囲で観測されるが、これは50MHzの場合であり、パルス巾は3 μS 、パルス間隔 τ は10 μS であり、真空度は 10^{-8} Torr である。ADPは反強誘電体であり、転移温度 148K 以下で反強誘電性を示し、148K以上で常誘電性を示すが、反強誘電相ではエコー e_2 は現われない。KDPとロッシェル塩は強誘電体であり、KDPは転移温度 123K 以下で強誘電性を示し、123K以上で常誘電性を示す。また、ロッシェル塩は2つの転移温度 253Kと297Kの間で強誘電性を示し、他の温度範囲で常誘電性を示す。ロッシェル塩ではこの2つの転移温度付近に、エコー e_2 はピークをもち、このピークは相転移に関連して現われたものと考えら

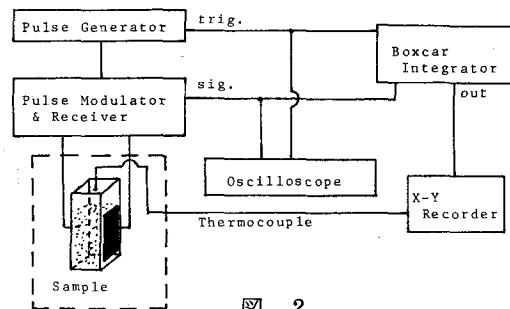


図 2

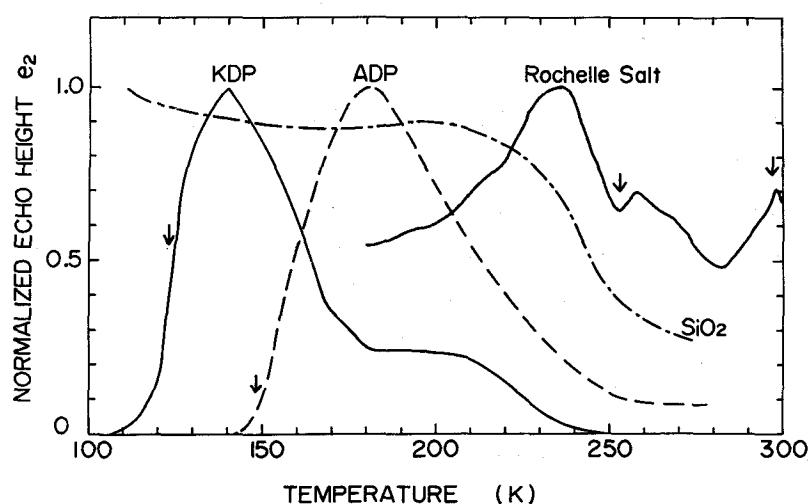


図 3

れ、もう1つのピーク(235K付近)は、他の原因によると思われる。ロッシェル塩との類推からKDPの140Kでのエコー-e₂のピークは、相転移に関連したピークに温度のずれがあるものと考えられる。また、水晶の場合は、相転移がなくピークも現われず、エコー-e₂の大きさは、低温の方が室温よりも5

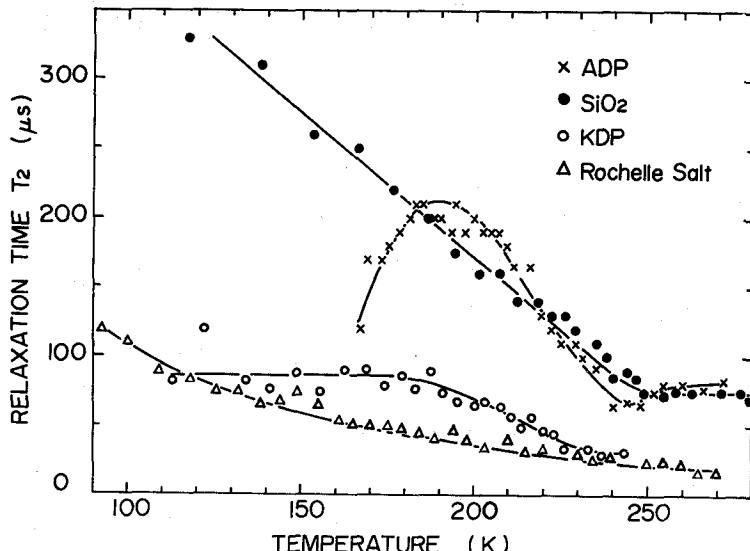


図 4

倍程度大きくなっている。これらの結果は2-パルスエコー-e₂に対するものであるが、3-パルスエコー-e₃も同様の温度依存性を示す。

図4は同じ試料での2-パルスエコーの緩和時間T₂の温度依存性である。この場合も周波数は50MHzであり、パルス巾は5μS、真空度は10⁻³Torrである。ADPの場合は190K付近で緩和時間T₂は長くなり、190Kより低温になると短くなっているが、その他の場合には温度の上昇とともに緩和時間T₂は短くなっている。ただ、KDPでは転移温度123K付近で緩和時間T₂が長くなっているが、これはやはり相転移に関連して長くなっていると考えられる。

2-パルスエコー-e₂とその緩和時間T₂の温度依存性から、緩和時間T₂には相転移の影響はあまりみられず、相転移の影響はおもにエコーの大きさに現われている。つまり、反強誘電体は反強誘電相ではエコーが現われなくなり、強誘電体では転移温度でエコーが大きくなっている。このことから逆に、ピークの温度からその物質の転移温度を推定することも可能であると思われる。

エコー-e₂と緩和時間T₂は、温度だけでなく周波数や真空度にも依存していて、エコー-e₂は40~70MHzの範囲で大きく、高真空の場合の方が大きくなっている。緩和時間T₂は周波数が高くなるほど短かくなり、高真空になるほど長くなっている。

圧電性粉末のフォノンエコーは、粒子の回転によって生じるのであるから、理想的には第3パルスの印加時間t = Tが無限大でも3-パルスエコー-e₃は現われるはずである。水晶の粉末においては、室温でも77Kでも初期の2時間ほどで、エコー-e₃の減衰がみられるが、それ以後はほとんど減衰せず、室温で2週間おいてもエコー-e₃は観測された。また、この3-パルスエコー-e₃は、異なる周波数の第3パルスでは得られず、記憶素子として用いる時には、約0.4MHzおきに書き込み、読み出すことができる。

フォノンエコーはもっぱら記憶素子としての応用が考えられていて、1cm³以下の水晶の粉末で10万ビットの情報を記憶できると言われている。この記憶素子以外にも、相転移のような物質の性質を調べることが可能であると思われる。