

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	<a href="https://hdl.handle.net/11094/11518">https://hdl.handle.net/11094/11518</a>
rights	
Note	

*Osaka University Knowledge Archive : OUKA*

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

Osaka University

## 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, boson 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  $\tau$  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。

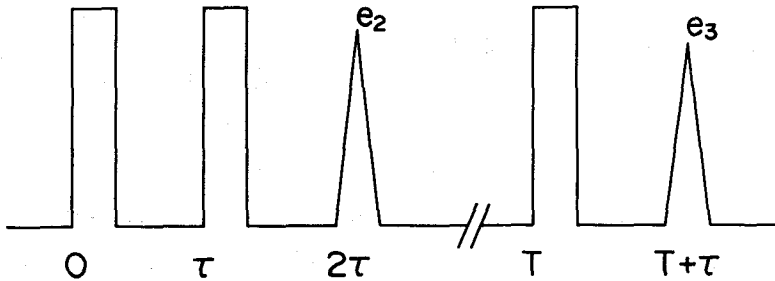


図 1.

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 つの谷をもつポ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سدューサ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ため、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  $\theta_i$  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  $\Omega_i$ 、 $\theta_i$  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、試料はシルバーペ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パルスはパルスモジュレータから試料に印加し、信号はレーンバーで検出する。

図3は水晶、ADPおよびロッシェル塩の粉末(粒径50~100  $\mu\text{m}$ )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  $\mu\text{s}$ 、パルス間隔  $\tau$  は10  $\mu\text{s}$  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

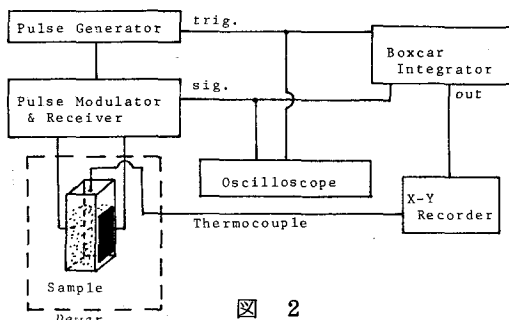


図 2

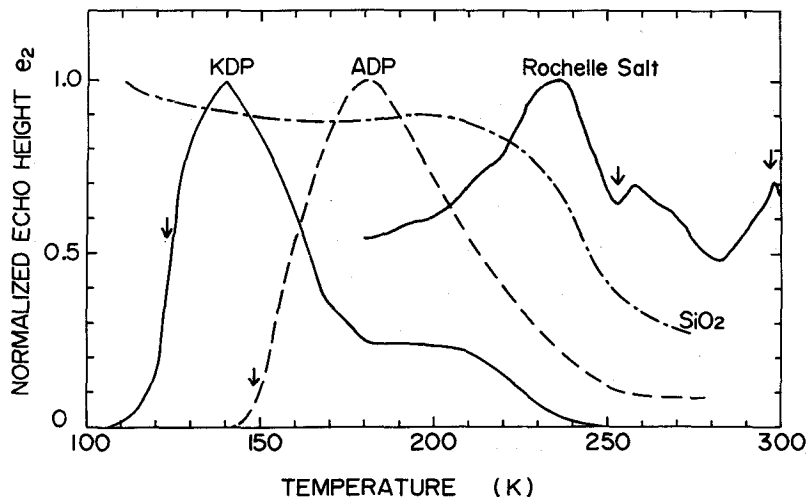


図 3

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 $e_2$ 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 $e_2$ の大きさは、低温の方が室温よりも5

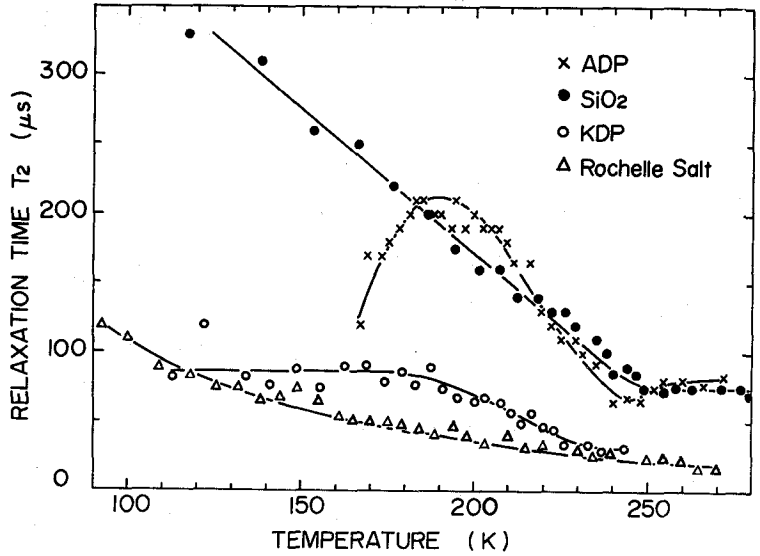


図 4

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 $e_2$ に対するものであるが、3-パルスエコー $e_3$ 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 $T_2$ 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5 $\mu$ S、真空度は $10^{-3}$ Torrである。ADPの場合は190K付近で緩和時間 $T_2$ 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 $T_2$ 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 $T_2$ 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 $e_2$ とその緩和時間 $T_2$ の温度依存性から、緩和時間 $T_2$ 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 $e_2$ と緩和時間 $T_2$ 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 $e_2$ 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 $T_2$ は周波数が高くなるほど短くなり、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 $t = T$ が無大でも3-パルスエコー $e_3$ 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 $e_3$ 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週間においてもエコー $e_3$ は観測された。また、この3-パルスエコー $e_3$ 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、 $1\text{ cm}^3$ 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。