

導体電気伝導の回路網的考察

中村 虎重・馬場 盛二

Fundamental studies of electric Conduction of
metals regarded as L C network.

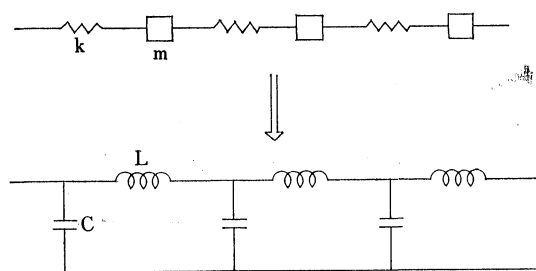
Torashige NAKAMURA and Moriji BABA

1. 緒 言

金属の電気抵抗は結晶を構成するイオン配列の不規則性によるとされている。即ち格子点のイオンの熱振動、また占有されるべき格子の位置に空孔があること、不純物原子の混在することによるとされている。筆者は原子と原子間に働く力をおもりとバネにたとえ、それを電気機械類推によって L, C 回路に変換し分布定数回路をつくった。それによって電気抵抗を回路の特性インピーダンスにモデル化していろいろの現象を説明することを試みた。

電気機械類推では重さ (m) はインダクタンス (L) にバネの強さ (k) は静電容量 (C) の逆数に対応する。従って回路の特性インピーダンスは下式の如くなる。(第1図参照)

$$Z = \sqrt{\frac{L}{C}} \rightarrow \sqrt{km}$$



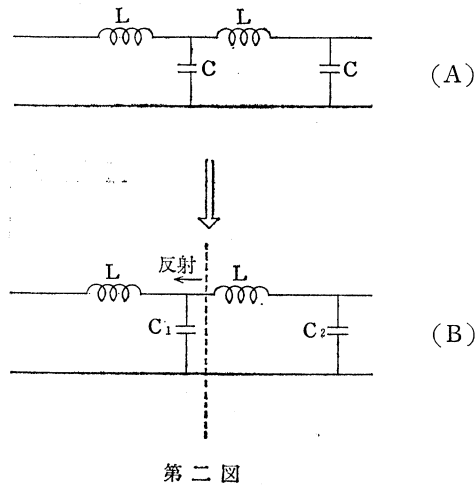
第一図

2. 導体抵抗の温度特性

絶対零度の近くでは格子振動の振巾は小さく従って原子間の相互作用も殆んどない。それは原子間の結合力即ち k が零に近づくことを意味し、特性インピーダンス \sqrt{km} が 0 にちかづくことになる。つまり電気抵抗が殆んどなくなる。

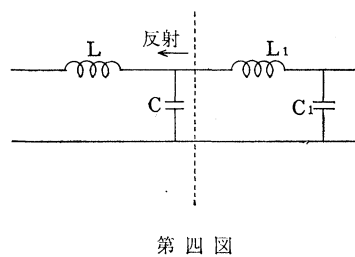
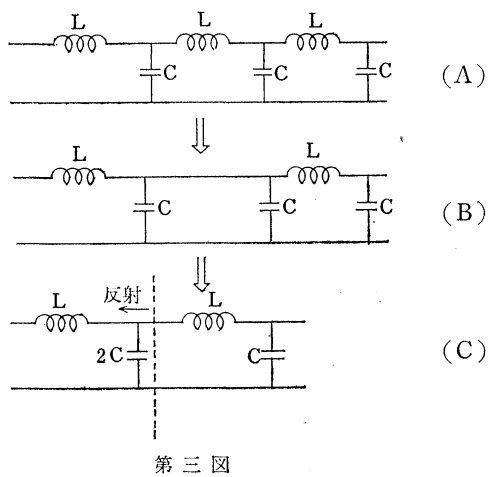
温度が上るにつれて振動の振巾が大きくなり隣接原子間の電子雲の重なりが生じ復原力(反撥力)もそれと共に強くなる。即ち k が温度と共に増大し従ってインピーダンスも大きくなる。このときイオンの不規則な熱運動のために各イオンはみな同じ位相で振動することはなく、それぞれち

がった位相で運動する。そのためイオン間の相互作用の強さがまちまちである。それを回路に変換すれば異なる固有振動数を有する回路の接続された状態となる。そしてインピーダンス不整合による反射が起る。つまり今まで、第二図 (A) の如き回路が (B) の如くなる。



3. 格子欠陥, 不純物原子の存在による抵抗の変化

これも以下のようにインピーダンス不整合による反射が抵抗の原因になると考えられる。即ち第三図 (A) 図が格子欠陥の場合には (B) (C) となり不整合を生ずる。



同様に不純物原子の存在によって第4図の如くなり反射を生ずる。

上述の如く結晶格子の不規則性は特性インピーダンスの整合，不整合の問題として考えられた。さらに各金属の固有抵抗を回路の特性インピーダンスとして考察する。

4. 各金属固有抵抗の比較検討

a. 金 と 銀

金と銀について原子量，単位格子の長さ，体積固有抵抗を比較すれば，下表の通りである。

第 1 表

	体積固有抵抗 ($\mu\Omega \text{ cm}$) 20°C	原 子 量	単位格子の長さ (Å)
Ag	1.62	107.8	4
Au	2.40	197.2	4

バネの強さ k についてはいずれも面心立方格子を形成し単位格子の長さが等しいので同じである。それで $Z = \sqrt{km}$ を比較すれば， $\sqrt{107.7} : \sqrt{197.2} = 1 : \sqrt{2} = 1 : 1.4$ となる。これは抵抗比 $1.62 : 2.30 = 1 : 1.5$ にほぼ等しくなり特性インピーダンスで抵抗をあらわすことの妥当なことが分る。

b. 銀とアルミニウム

第 2 表

	体積固有抵抗 ($\mu\Omega \text{ cm}$) 20°C	原 子 量	単位格子の長さ (Å)
Ag	1.62	107.2	4.0
Al	2.62	27	4.0

1 価の同性イオンを結合するに要する力を 1 とすれば 3 価の場合は 3^2 である。つまり，結合にあずかる電子数の 2 乗に比例する力が働くと考えられる。それで \sqrt{km} を比較すれば， $\sqrt{107.2} : \sqrt{3^2 \times 27} = 2 : 3$ となり，抵抗の比 $1.62 : 2.62 = 1 : 1.6$ にほぼ等しくなる。

c. 銀とニッケル

かりに二つの金属原子を互に他の原子に近づけていった場合，外殻電子はそれぞれとなりの原子核の引力を受けて互により接近するようになる。しかし，この種の作用は金属芯イオンの閉殻構造の反撥をうけて一定の距離にとどまる。それで結合力として原子核と侵入した電子間のクーロン力が考えられる。

$$\text{クーロン力} \dots \dots f = e^2/r^2 = kr$$

$$\therefore k = e^2/r^3$$

(e …イオン価, k …バネの強さ, r …距離) 今, 電子がイオン半径の距離にまで接近するとして計算すればバネの強さの比は,

$$A_g : N_i = \frac{1^2}{(1.26)^3} : \frac{2^2}{(0.69)^3} = 1 : 23$$

抵抗比は $Z = \sqrt{km}$ より

$$A_g : N_i = \sqrt{1 \times 107.8} : \sqrt{58.7 \times 23} = 1 : 3.8$$

実際の比は $1.62 : 6.9 = 1 : 4.3$ で大体近似する。

第 3 表

	イオン半径 (Å)	イオン価	原子量	電気抵抗 (Ω)
Ni	0.69	2	58.7	6.90
Ag	1.26	1	107.8	1.62

d. 半導体について

ゲルマニウム, 珪素はともにダイヤモンド構造でつよい原子間結合をなし絶縁体に近いが温度が上るにつれて共有結合にあずかる電子の一部に自由電子を生じそれだけ原子間結合が弱くなる。すなわち $Z = \sqrt{km}$ よりインピーダンスが減少する。

5. 結 言

電子波の散乱現象を回路のインピーダンス不整合にもとづく電気エネルギーの反射とする考えは一応矛盾なく説明されるのであるが, この考えを更に進めて電気抵抗を回路の特性インピーダンスとして理解しようとするとき注意せねばならぬことがある。それは特性インピーダンスは無反射の場合の駆動点インピーダンスだからである。つまり回路の部分はすべて同じ固有振動数を持ち, 整合していると思なさねばならぬ。

そこで以下のように考えた。固体の比熱を論ずる場合, Einstein は固体の各分子が独立に同じ振動数で振動すると考え, Debye は各分子はみなちがった振動数の振動をすると訂正した。この訂正はたしかに正しいけれども常温付近では両者の数値は全く一致している。比熱と電気抵抗の温度による上昇との関係を考えればいずれも格子点のイオンの熱振動に原因している。そこで電気抵抗の場合も常温では Einstein の考えに従って各イオンは同じ振動数を持ち, 回路は整合していると考えて差支えない。

参 考 図 書

- 小谷正雄著 物理学概説 下
 高橋秀俊著 双対と類推
 桐山良一著 構造無機化学
 酒井・山中著 電気物性論入門
 スレーター・フランク 理論物理学入門(下)
 井上 訳