

相互作用の高次効果

東北大通研 伊沢義雅

局在領域での相互作用の効果は、 $A-A^{(1)}$, $A-A-L^{(2)}$, Fukuyama³⁾の理論に始まり、最近、研究が進展に行われている。その結果、スプリーニフを考慮した相互作用の一次近似に際して局在効果と相互作用の「からみ合い」の効果が輸送係数の温度(T)、磁場(H)依存性に異なるものをもたらしることが明らかになった。実験的にも、二次元系(Si-MOS⁴⁾、三次元系(Si:P⁵⁾, Ge:Sb⁶⁾, n-InSb⁷⁾でこのからみ合いの効果が見出されており、定性的には理論と実験の一致はよい。しかし定量的な一致は十分でない。輸送係数に異なるものをもたらし得る相互作用と局在のからみ合いには、4つのモード： g_i ($i=1\sim 4$)がある。組1 g_3, g_4 (スピン自由度のため $g_3(H)$ と $g_3(L)$, $g_4(H)$ と $g_4(L)$)は合えられる。相互作用による電気伝導率への補正項は、 $H=0$ の時、次元数に依る式で与えられる^{3), 8)}

$$\Delta\sigma/\sigma_0 = -2A(g_1 - g_3(H) - g_3(L)) - 2A_s(g_2 - g_4(H) - g_4(L)) \quad (1)$$

$$\therefore \sigma_0 = \frac{n}{m} e^2 \tau, \quad A = \frac{2T}{N(\omega)} \sum_{q, \omega > 0} \frac{\omega}{(Dq^2 + \omega)^3}, \quad A_s = \frac{2T}{N(\omega)} \sum_{q, \omega > 0} \frac{\omega}{(Dq^2 + \omega + 1/\tau_c)^3}$$

$$g_1 = 1 \quad (2-D), \quad \frac{2}{3} \quad (3-D), \quad g_2 = g_3(H) = g_3(L) = g_4(H) = g_4(L) = F/2$$

$\Delta\sigma$ に適用する条件で $2nT$ (2-D), $\sqrt{T}$ (3-D) 依存性をもつことがよく知られている。

高次効果

従来のスプリーニフを考慮した相互作用の一次近似の取扱いは(HFA+RPA)の形質にあり、電子間の長距離相関は正しく取扱われているものの、短距離相関に関しては不十分である。短距離相関の重要性を自覚して電子相関の理論で用いられる有効ボル半径を単位として決めた電子間の平均距離

： r_s^* の値を局在と相互作用のからみの効果が見られる物質に対し Table I に示したキャリア密度が大々異なるにも関わらず、 r_s^* はほぼ同じ値をとる。

しかも $r_s^* \geq 1$ であることは、短距離相関が非常に重要であることを示しておりその相関効果を正しく扱うには相互作用の高次効果の解析が不可欠となる。

以下の解析では十分金属的であるが相互作用の強い系を念頭におくため、乱雑士の度合いを表わすパラメータ $\lambda = 1/\pi r_s^* F$ ($\lambda \ll 1$) に因りては、相互作用の

	Si-MOS	Si:P	Ge:Sb	n-InSb
r_s^*	1~3	3~6	3~5	1~2
carrier density	$O(10^{12} \text{ cm}^{-2})$	$O(10^{18} \text{ cm}^{-3})$	$O(10^{17} \text{ cm}^{-3})$	$O(10^{14} \text{ cm}^{-3})$

$r_s^* = r_s/a^*$; $a^* = \hbar^2 \epsilon_0 / m^* e^2$, r_s = the average distance between electrons in a valley.

Table I

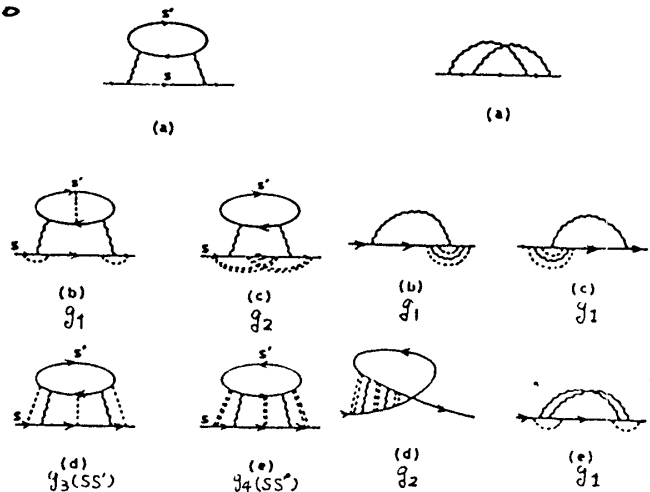


Fig.1 The direct process. Fig.2 The exchange process.

図1g)に示した高次効果(補正)計算する。

まず λg^2 のオーダーに高次効果の議論を始める。

Fig.1(a)に示した自己エネルギーに対する直接の0次効果を考える。これは乱数に起因する散乱モードの"大入り"をつける。Fig.1(b)

~(c)に示す $g_1, g_2, g_3(ss'), g_4(ss')$ の各700セグメントを。 (実際は粒子-正孔(p-h)対, =重実数(粒子-粒子(p-p)対による散乱モードを表わす) (a) Fig.1(b), (c) は λg^2 のオーダーの効果を。 344 Fig.1(b)から相互作用の2次の計算で dynamically screened Coulomb と(2)取り出し

れているからである。 Fig.1(c)に示した g_2 の0次効果は、 F の値に依り λg^2 のオーダーであり λg^2 のオーダーで与えられる。

他方 Fig.1(d), (e) は λg^2 の補正効果である。 Fig.1(d) は $g_3(ss')$ の700セグメントであり, $s=s'$ の時交換補正をさす, $s=-s'$ の時, 1/2の因子に効果の値の2分の1の700セグメントである。 Fig.1(e) は g_4 の700セグメントに2つ対称 $s=-s'$ の時 2つの相対的な言葉で表わす。

(a) Coulomb hole 効果の値の700セグメントであり, 相互作用がゼロの場合には Cooperon の値の700セグメントを表わす。 $s=s'$ の値は3つ表わすように対応する exchange counter part を存在しそれと相殺する。 2に Fig.2

(a)に示した交換対称性の2つの700セグメントに。 散乱モードの"大入り"をつけることは1/2に依り g_1, g_2 の700セグメントを Fig.2(b)~(e)に示した。

Fig.2(d)の700セグメントは Fig.1(e)の exchange counter part ($s=s'$)の2つに相殺する。 244 平均して0.25に等しい電子は Pauli 原理のため近づく相互作用の距離を短く感じないからである。 344 g_2 と g_4 (4)の700セグメントは高次効果を全て取り除くために相殺する。 Fig.2(e)は λg^2 のオーダーの効果を無視する。

g_1 の700セグメントへの高次効果は λg^3 のオーダーである。 これは RPA に対する交換補正(電子が2つの Hubbard 近似)に依り, Fig.3にその最低2次の値を示す。 一般に λg^u ($u=2, 3, \dots$) の値を全てとると結局 Fig.4, 5, 6 の ladder graph

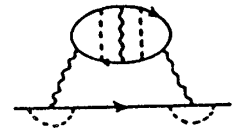


Fig.3 The exchange correction to RPA.

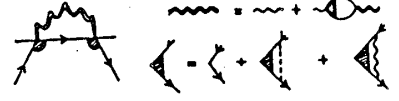


Fig.4 The g_1 -process.

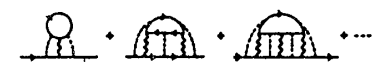


Fig.5 The g_3 -process.



Fig.6 The $g_4(s, -s)$ -process.

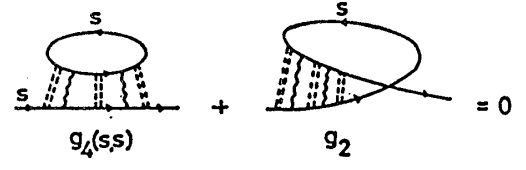


Fig.7 The g_2 - and $g_4(s, s)$ -processes cancel out.

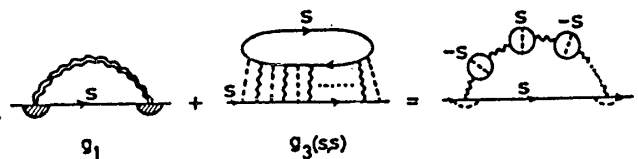


Fig.8 The $(g_1+g_3(ss))$ -processes in contact potential limit.

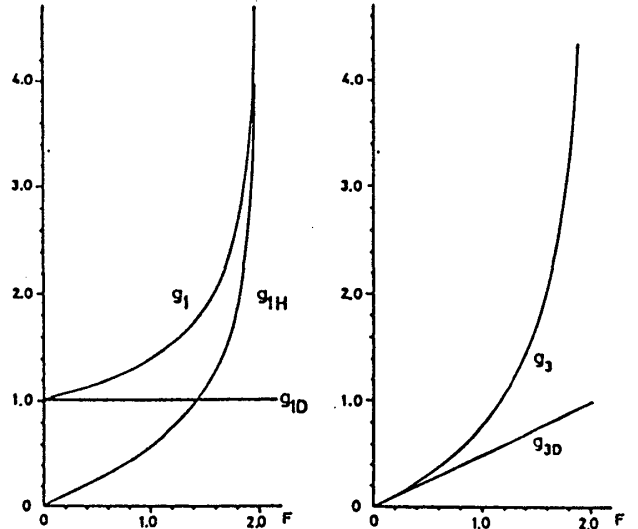


Fig.9 The value of g_1 and g_3 for 2-D.

