

4. 希ガスの Auger 過程における PCI 効果

石井 弘之

[序]

自動電離過程や Auger 過程などにおいて、入射粒子のエネルギーがしきい値に近い場合、自動電離電子や Auger 電子と散乱粒子や内殻電離電子との間でエネルギー交換が行われる。このことは PCI 効果と呼ばれ、自動電離電子や Auger 電子のエネルギースペクトルにおいて、そのラインのエネルギーシフトやブロードニングとして観測される。この PCI 効果は、1966 年に Barker と Berry [1] によって、イオン・原子衝突での自動電離過程において最初に報告された。以後、いろいろな系について実験研究され、一方、Read [2] や Niehaus [3] などによって、PCI 効果が理論的にも研究されてきた。光子衝突による Auger 過程における PCI 効果での理論と実験の比較は、Borst ら [4] などによって行われ、よい結果を得ているが、電子衝突による Auger 過程の場合は、エネルギー交換が行われる電子が 3 つであることや、2 個の電子が余剰エネルギーをどのように分けあうか、など、問題が複雑になり理論との比較、特に、Auger ラインの形の比較は他には行われていない。

我々は電子衝突による希ガス原子の Auger 過程について、形の解析を含めた PCI 効果を研究してきた。研究された Auger ラインは、Ne $KL_{23}L_{23}$ (1S_0)、Ar $L_{3}M_{23}M_{23}$ (1S_0)、Kr $M_5N_1N_{23}$ (1P_1)、Xe $N_5O_{23}O_{23}$ (1S_0) である。なお、Ar LMM Auger は、池滝氏 [5] らによって行われた実験データを用いた。

[実験装置と実験方法]

この実験では交差ビーム法によって Auger 過程を起こし、Auger 電子のエネルギー分析は静電型のアナライザーが用いられた。用いられた実験装置を図 1 に示す。また、Auger 電子のエネルギー較正を行うため、Ar、Kr、Xe は He の自動電離ラインが用いられ、Ne は Ar の Auger ラインが用いられ、さらに、Ar は Ar の自動電離ラインでもエネルギー較正が行われた。このため標的ガスに He などのガスを混合して実験が行われた。また、Kr の場合は、He の自動電離ラインと Auger ラインとが重なるため、Kr ガスだけでの実験も行われた。Ar と Ne の場合は Auger ラインと基準のラインがエネルギー的に離れているのでステップスキャン法が用いられた。また、衝突領域の空間電位により、入射電子のエネルギーが電源によって与えられたエネルギーと異なるので、入射エネルギーの低いところでは、ステップスキャン法により Auger ライン、または、He の自動電離ラインと弾性散乱電子を同時に観測し、入射電子のエネルギー較正を行った。また、この空間電位が測定中に変化すると、分解能に大きく影響するため、この空間電位を決めているガス圧や電子電流などの実験条件を、一定に保つことが要求される。

[実験結果とプロファイル関数]

この研究では Niehaus モデルを電子衝突による Auger 過程に拡張した式と、それを補正することによって得られた経験式とを比較した。式は原子単位系で、次のようになる。

$$P(E) = \left| \int_0^{\infty} dt \exp[-i(E - E_0)t + i \int_0^t \frac{2}{C\sqrt{E_1 t' + \delta}} dt' - \frac{\Gamma}{2} t] \right|^2$$

Niehaus モデル $C=1$

経験式 $C = \sqrt{2E_0} / (\sqrt{2E_0} - \sqrt{E_1})$ ($2E_0 > E_1$)
 $C = \infty$ ($2E_0 \leq E_1$)

ここで、 E_0 はPCI効果がないときのAuger電子のエネルギー、 E_1 は余剰エネルギー、 Γ はAugerラインの自然幅である。経験式はAuger崩壊が起こってから、Auger電子が散乱電子と内殻電離電子に追いつく時間を考慮したものと解釈されている。図2と図3はKr $M_5N_1N_{23}$ (1P_1) Augerラインで、図2の実線はNiehausモデルによる計算値、図3の実線は経験式の計算結果である。全般的にNiehausモデルはPCIが大きくすぎており、特にシフトは余剰エネルギーの大きなところでも、かなりの大きさを持っている。一方、我々の経験式は、余剰エネルギーの中間的な領域で、ややPCIが小さくでているものの、全体的にみると、実験値をかなりよく再現しているといえる。

Kr以外のAugerラインについては、修士論文発表会で報告する予定である。また、計算式は解析的に解けることと、経験式の理論的うらづけが、最近、小池氏[6]によって報告されている。

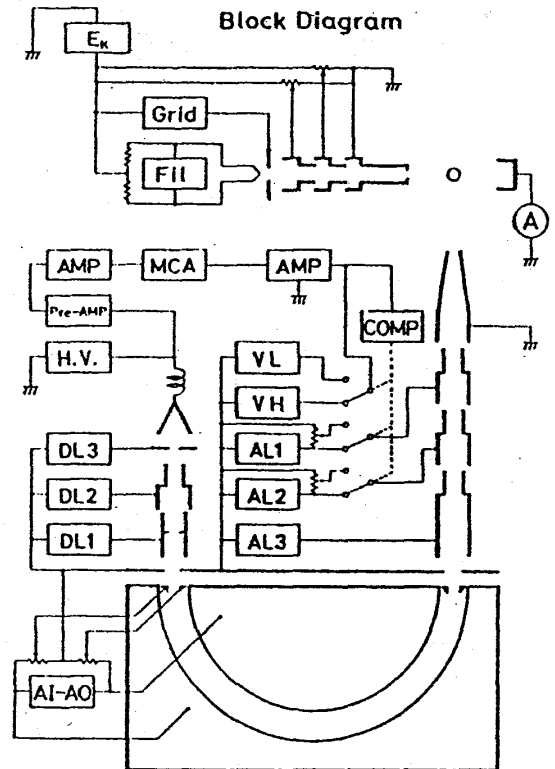


図1 実験装置

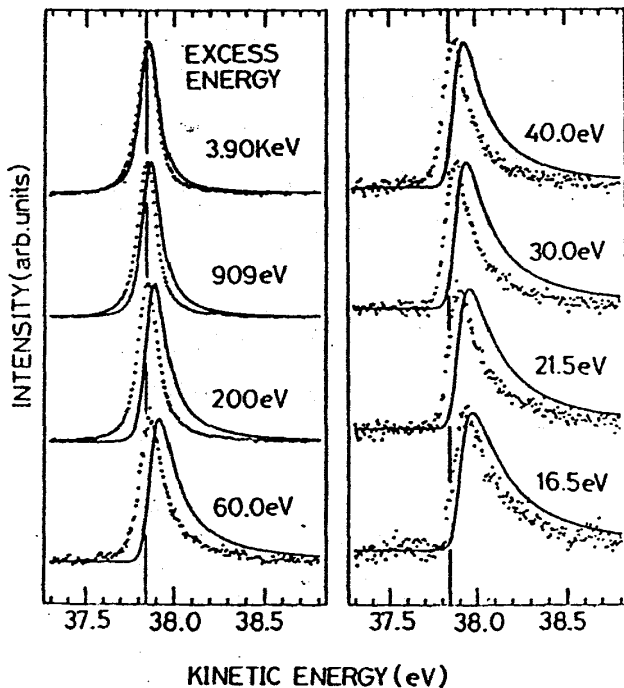


図2 実験結果(Kr)と Niehaus モデル

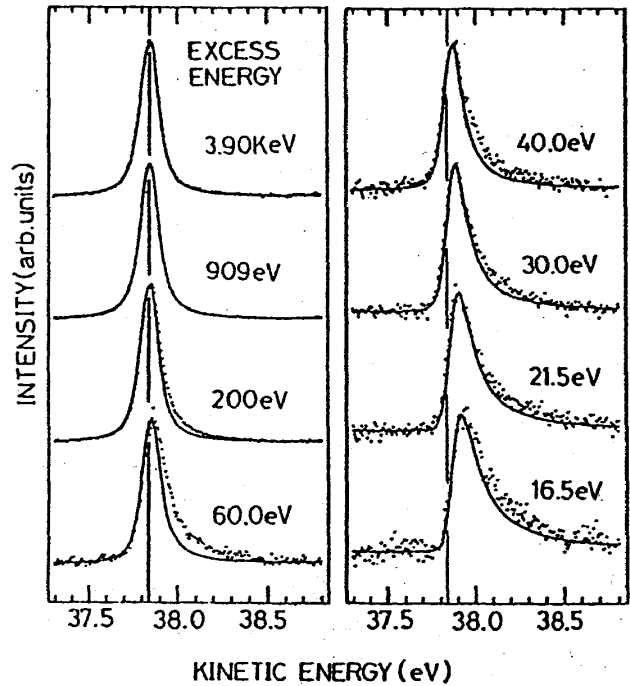


図3 実験結果 (Kr) と経験式

【参考文献】

- [1] R.B.Barker and H.W.Berry Phys.Rev. 151 p.14 (1966)
- [2] F.H.Reed Radiat Res. 64 p.23 (1975)
- [3] A.Niehaus J.Phys.B 10 p.1845 (1977)
- [4] M.Borst and V.Schmidt Phys.Rev.A 33 p.4456
- [5] 電子衝突法によるAuger過程におけるRead効果 池滝慶記修士論文(1983)
- [6] F.Koike J.Phys.Soc.Jpn. 57 p.2705