

立教大学学術推進特別重点資金（立教 S F R）
大学院生研究
2007年度研究成果報告書

研究科名	立教大学大学院			理学研究科	物理学専攻
指導教員	所属・職名		氏名		
	理学部・准教授		平山 孝人 印		
自然・人文の別	自然・人文		個人・共同の別	個人・共同 3名	
研究課題名	電子エネルギー損失分光法による希ガスクラスターの電子的励起過程の研究				
研究代表者	在籍研究科・専攻・学年		氏名		
	理学研究科物理学専攻博士後期1年		窪寺 隼人 印		
研究組織	在籍研究科・専攻・学年		氏名		
	理学研究科物理学専攻博士前期2年		堺 聡史		
	理学研究科物理学専攻博士前期1年		関塚 達也		
研究期間	2007年度				
研究経費	500 千円				

研究の概要 (200~300字で記入、図・グラフ等は使用しないこと。)

本研究では、電子エネルギー損失分光法による希ガスクラスターの電子的励起過程に関する実験的研究を行っている。電子エネルギー損失分光法とは、エネルギーを揃えた電子を標的と衝突させ、散乱電子を観測することで標的の電子的励起過程に関する情報を得る手法である。クラスターとは原子有限個の集合体で、その最小である単原子と、最大である固体(構成原子数無限)の中間的状態である。クラスターは、そのサイズ(構成原子数)が小さい場合には原子的性質を強く示し、大きい場合には固体的性質を強く示す。この研究の目的は、クラスターサイズの変化による電子的励起状態の生成過程の変化を観測することである。特に、どの程度のサイズ領域から固体的性質が観測できるのか、クラスター特有の電子的励起過程は観測されるのか、という点に注目している。

キーワード (研究内容をよく表しているものを3項目以内で記入。)

[希ガス] [クラスター] [電子的励起]

研究成果の概要 (図・グラフ等は使用しないこと。)

■ Ar クラスタにおける電子エネルギー損失スペクトルのサイズ依存性及び入射電子エネルギー依存性の測定

当該研究期間以前に、Ar クラスタにおける電子エネルギー損失スペクトルの測定に成功している(入射電子エネルギー $E_e=100\text{eV}$ 、散乱角 0 度)。そこで今回は、そのサイズ依存性の測定から着手した。Fig.1 は、Ar クラスタにおける電子エネルギー損失スペクトルのクラスタサイズ依存性を表しており、スペクトル(a)、(b)はそれぞれ入射電子エネルギー $E_e=100\text{eV}$ 、 250eV の測定結果である。図中の縦線は Ar 固体の表面励起子とバルク励起子のエネルギー準位に対応している[1]。また、図中の $\langle N \rangle$ は平均クラスタサイズを表しており、 12.1eV 付近のバルク励起子生成を示すピークの強度はクラスタサイズの増加と共に増大している。このバルク励起子生成を示すピークは、入射電子エネルギー $E_e=100\text{eV}$ では平均クラスタサイズ $\langle N \rangle=170$ から現れたが、 $E_e=250\text{eV}$ ではサイズ $\langle N \rangle=120$ から現れていることが判る。これは、クラスタが球状であることを仮定すると、直径にして原子約 5~6 個程度の大きさから固体的な性質を示していることになる。

また、入射エネルギーによる違いは、Ar クラスタ中での電子の平均自由行程で説明できる。エネルギー $E_e=100\text{eV}$ 、 250eV の電子の平均自由行程 λ はそれぞれ約 0.7nm および 1.2nm であり[2]、Ar 固体の最隣接原子間距離が 0.376nm であることから、 $E_e=250\text{eV}$ での実験結果では、 100eV の場合に比べ電子のクラスタへの侵入深さが長く、バルク励起子が多く生成されたと考えられる。

また、得られた結果を表面励起の信号強度 I_s と全信号強度 I の比から検証した。まず、表面励起子及びバルク励起子生成の断面積が等しく、表面励起子生成を表すピーク強度が表面原子数に、バルク励起子生成を表すピーク強度がバルク原子数にそれぞれ比例していると仮定すると、全信号強度 I とクラスタ表面励起の信号強度 I_s の比 I_s/I を、クラスタの構成原子数 N とクラスタの表面原子数 N_s の比 N_s/N と関連づけることができる[1]。クラスタが球形であるとすると、 N_s と N は

$$\frac{N_s}{N} N^{1/3} = 4 \quad \dots (1)$$

このような関係であらわせる。

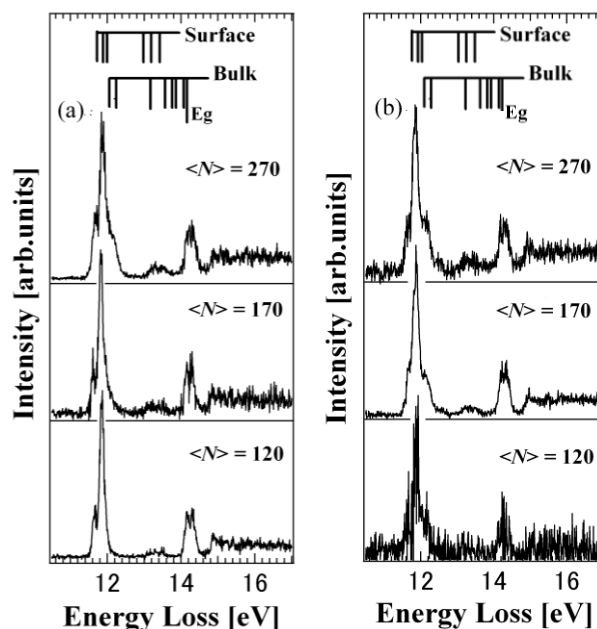


Fig.1. Ar クラスタにおける電子エネルギー損失スペクトルのクラスタサイズ依存性。(a),(b)はそれぞれ入射電子エネルギー $E_e=100\text{eV}$ 及び 250eV の実験結果に対応している。図中の縦線は、Ar 固体における表面励起子及びバルク励起子のエネルギー準位を表している[1]。

研究成果の概要 つづき

(1)式は、表面原子数と全原子数の比にクラスターサイズの $1/3$ 乗をかけた値はそのサイズによらず 4 という一定の値をとることを表している。Fig.2 は(1)式を実験結果と対応させた量 $(I_s/I)N^{1/3}$ と $N^{1/3}$ の関係を表している。図中の Δ 印は閉殻構造の正二十面体における表面原子数および構成原子数を(1)式に代入して計算した結果で、サイズの増大と共に球状である場合の 4 という一定の値に向かって収束している。●及び○印はそれぞれ入射エネルギー $E_e=100\text{eV}, 250\text{eV}$ の実験結果であり、共に 4 に近い値を取っていることが判る。また、これらの結果がクラスターサイズの増大と共に増加しており、かつ入射電子エネルギー $E_e=250\text{eV}$ の結果は 100eV の結果に比べ小さくなっていることが判る。これは、電子の平均自由行程がクラスターの半径に比べて小さく、励起に寄与しないバルク原子が存在することを意味する。図中の点線及び実線は電子の平均自由行程を考慮に入れた計算結果である。これにより、測定により得られた実験結果を定性的に説明することが出来た。

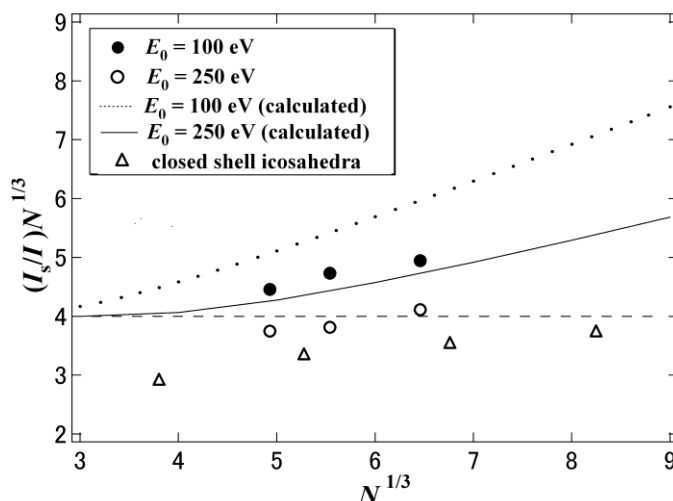


Fig.2. $(I_s/I)N^{1/3}$ と $N^{1/3}$ の関係。図中の点線及び実線は電子の平均自由行程を考慮に入れた計算結果で、●及び○はそれぞれ入射電子エネルギー $100\text{eV}, 250\text{eV}$ での実験結果である。

■ クラスタービーム源の改造

本研究では、標的であるクラスターの生成に断熱膨張法を用いている。断熱膨張法とは、数気圧程度の気体をノズルを通して真空中に噴出することで断熱膨張により気体を冷却、クラスターを生成する手法である。本実験では断熱膨張後の膨張流をスキマーで切り出し分子線として取り出しているが、膨張流とバックグラウンドガスの衝突面や膨張流前方にはバレルショックやマッハディスクと呼ばれる衝撃波が発生し、この衝撃波の外では分子線強度が著しく落ちる。そのためスキマーは膨張流前方にある衝撃波(マッハディスク)よりも手前に設置されなければならない。しかしノズルとスキマーを近づけすぎると膨張不足やスキマーと膨張流が衝突干渉し分子線強度は落ちる。よって、ノズルとスキマーの距離によって分子線の強度は大きく変化する。そこで、ノズルとスキマーの距離を最適距離に調整することのできるノズル可動機構を新たに設計した。この機構の導入により、実験毎に最大の分子線強度を得ることが可能となる。

また、断熱膨張法により生成されるクラスターのサイズはノズルの径・温度及び膨張前圧力に依存する。そこで、さらに大きなクラスターを生成するため新たにノズルの冷却機構を設計した。この、液体窒素を用いた冷却機構を実装することにより、ノズルを約 100K 程度まで冷却することが可能となる。これにより、現状より 1 桁程度大きなサイズのクラスターの生成が期待される。

< 参考文献 >

- [1] J. Stapelfeldt, J. Wörmer and T. Möller, Phys. Rev. Lett. **62**, 98 (1989).
- [2] N. Schwentner, E. E. Koch, and J. Jortner, Electronic Excitations in Condensed Rare Gases (Springer-Verlag, Berlin, 1985).

研究発表 (研究によって得られた研究経過・成果を発表した①～④について、該当するものを記入してください。該当するものが多い場合は主要なものを抜粋してください。)

- ①雑誌論文 (著者名、論文標題、雑誌名、巻号、発行年、ページ)
- ②図書 (著者名、出版社、書名、発行年、総ページ数)
- ③シンポジウム・公開講演会等の開催 (会名、開催日、開催場所)
- ④その他 (学会発表、研究報告書の印刷等)

④その他 (学会発表、研究報告書の印刷等)

・希ガスクラスターにおける電子的励起過程の実験的研究

○堺聡史，窪寺隼人，関塚達也，立花隆行，平山孝人
日本物理学会第62回年次大会，北海道大学，2007年9月

・希ガスクラスターにおける電子的励起過程の実験的研究

○窪寺隼人，堺聡史，関塚達也，立花隆行，平山孝人
JAXA宇宙科学研究本部宇宙空間原子分子過程研究会，2008年2月

・電子エネルギー損失分光法を用いたArクラスターの電子的励起過程の実験的研究

○関塚達也，堺聡史，窪寺隼人，立花隆行，平山孝人
日本物理学会第63回年次大会，近畿大学，2008年3月