Kr の励起衝突断面積についての考察

正員 福山 達也 (千葉工業大学)

正員 伊藤 晴雄 (千葉工業大学)

Consideration on the Excitation Collision Cross-section for Kr

Tatsuya Fukuyama, Member, Haruo Itoh, Member (Chiba Institute of Technology)

It is well known that the profile of the cross section of the resonance excitation $1s_4$ of Krypton in the electron collision cross section set compiled by M. Hayashi has sharp peak after the rise up from the threshold. We have investigated on the influence of the "sharp peak" to the electron transport characteristics in the equilibrium and non-equilibrium regions. Because of the comparison, we introduced another excitation cross section which was removed the sharp peak from the cross section of $1s_4$. We calculated the electron transport characteristics using these two kind of electron collision cross sections. It is found that the electron transport characteristics in the energy equilibrium region becomes almost the same results, but that in the non-equilibrium region becomes the results of large differences.

キーワード : Kr, 励起衝突断面積, エネルギー非平衡領域, モンテカルロシミュレーション

1. ま え が き

林がまとめた Kr の電子衝突断面積のセット⁽¹⁾の中に、しきい値 10.33eV から立上がりその直後に鋭いピークをもつ q_{e2} の電子衝突断面積がある。林によるとこれは、共鳴準位 ($1s_4$) への励起を考慮して決めたものと説明しており、このような断面積は電子スオーム特性ばかりでなく、発光現象の解明にも威力を発揮する⁽²⁾。著者らはこのような励起衝突断面積にピークを与えたことがスオーム特性にどのような影響を及ぼすかについて考察した。

2. 計算方法及び計算結果

図1は Kr の電子励起衝突断面積のセットの中の q_{e2} だけを拡大したものがある。林が示したものを q_{e2} 、鋭いピークを無くしてしまったものを q_{e2}' とする。これらを別々にセットの中に含めた2通りの計算をエネルギー非平衡と平衡の2つの領域で行ない、励起発生分布やスオームパラメータに及ぼす影響について比較した。

MCS の計算方法は以前の報告⁽²⁾で用いたものと同一である。計算条件は電極間距離 $d=1.2\text{cm}$ 、気体圧力 $p_0=10\text{Torr}$ 、電極面での電子の反射率は0とした。換算電界はエネルギー非平衡領域の観察には $E/p_0=4\text{V/cm}\cdot\text{Torr}$ 、エネルギー平衡領域でスオームパラメータを求める際には $E/p_0=20\text{V/cm}\cdot\text{Torr}$ とし、初期電子数は10000個、電子の初期エネルギーは $0\sim 0.1\text{eV}$ で等確率で与えた。電子はすべて電極中心から放出した。

(1) エネルギー非平衡領域での比較

$E/p_0=4\text{V/cm}\cdot\text{Torr}$ における全ての準位への励起発生位置空間分布を図2に示した⁽¹⁾。1点が1つの励起発生位置

を表わしている。図2(a)はピークがある q_{e2} 、図2(b)はピークがない q_{e2}' を用いた計算結果である。

最も陰極寄りにある励起の1層目に注目して両者を比較すると、(a)では陰極側の縁が明確であるのに対して、(b)では全体的にぼやけた分布となっている。これは、(a)では陰極から q_{e2} の高いピークに相当する電子エネルギーをとる位置で励起が発生しているためである。一方、ピークが存在しない(b)では、(a)のように一斉に励起することが無く、層の幅も広がっている。これは q_{e2} のピークが無くなったことと、このピークが存在する10eV付近で運動量変換衝突断面積 q_m が極大値を取り、弾性衝突の発生頻度が高く、弾性衝突回数が増加することによっている。すべ

図1 電子励起断面積 q_{e2}' の拡大図

Fig.1. Electron excitation collision cross section of q_{e2}' .

図2 励起発生空間分布 (a) q_{e2} (b) q_{e2}'
Fig. 2. Spatial distribution of excitation.

ての電子について計算した結果より、電子1個当りの弾性衝突回数は (a) では 36859 回、(b) では 38775 回であり、約 5(%) 多い結果となった。このように弾性衝突と q_{e1} を含めた q_{e3} 以上の励起が多く起こるため、励起の層の形は、電界方向に対して縦、横方向に広がったものになる。同時に励起分布は陰極に対して凸の曲がりが大きくなるとともに、陽極側に位置する層である程僅かではあるが陽極方向にシフトしているのが確認できる⁽³⁾。

(2) エネルギー平衡領域での比較

$E/p_0=20$ V/cm·Torr のエネルギー平衡領域内における諸量を SST サンプルングして、平均エネルギー、移動速度、各種衝突率を計算した結果を表 1 にまとめて示した。また両者の差を相対値として表示した。

初めに各微小空間内でサンプルングした電子衝突数の区間平均したものを衝突率として表わした。これで比較すると、 q_{e2}' を用いた場合 ν_{e2} は約 6% 減少したがこれは q_{e2} のピークの減少によるためである。これとは対照的に、その他の励起衝突率および電離衝突率は約 2% ずつ増加した。これは、 q_{e2} のピークで遮られていた電子が、ピークがなくなったことで、 q_{e2} 以上の励起や電離断面積の存在するエネルギー領域まで到達でき、衝突が発生したためと考えられる。

また、 ν_{e2} 以外はすべて増加しているにもかかわらず、全励起衝突率 ν_e は約 0.6% 減少した。これも、 q_{e2} のピークの減少によるものと考えられる。このような各種衝突率

表 1 スオームパラメータの比較

Table 1. Comparison of the electron swarm parameter.

	$q_{e2}(a)$	$q_{e2}'(b)$	$\frac{(b)-(a)}{(a)} \times 100(\%)$
平均エネルギー ϵ (eV)	5.17	5.18	0.4
移動速度 v_d (cm/ μ s)	4.40	4.40	-0.1
弾性衝突率 ν_m (s ⁻¹)	5.81×10^{10}	5.84×10^{10}	0.4
励起衝突率 ν_e (s ⁻¹)	7.59×10^7	7.54×10^7	-0.6
ν_{e1}	1.20×10^7	1.22×10^7	1.9
ν_{e2}	2.39×10^7	2.25×10^7	-5.9
ν_{e3}	2.71×10^6	2.77×10^6	2.2
ν_{e4}	1.25×10^7	1.27×10^7	1.8
ν_{e5}	1.61×10^6	1.64×10^6	1.8
ν_{e6}	6.13×10^6	6.24×10^6	1.8
ν_{e7}	1.58×10^6	1.60×10^6	1.8
ν_{e8}	1.56×10^6	1.59×10^6	1.8
ν_{e9}	1.72×10^6	1.75×10^6	1.7
ν_{e10}	7.20×10^6	7.32×10^6	1.8
ν_{e11}	1.09×10^6	1.11×10^6	1.7
ν_{e12}	2.39×10^6	2.43×10^6	1.7
ν_{e13}	1.02×10^5	1.03×10^5	1.6
ν_{e14}	5.15×10^5	5.22×10^5	1.4
電離衝突率 ν_i (s ⁻¹)	2.61×10^6	2.62×10^6	0.5

の変化により平均エネルギーは 0.4% 増加、移動速度 v_d は 0.1% 減少となって観測され、鋭いピークと細いエネルギー幅を持つ非弾性衝突断面積のスオーム特性に及ぼす効果を確かめることができた。しかしエネルギー平衡している領域でもあり、その差は僅かであった。

3. ま と め

発光現象の実験結果を取り入れて決定したこの励起断面積のピークが電子スオーム全体の振るまい、特に、エネルギー平衡領域における電子輸送係数に与える影響は、小さいものである。しかし、エネルギー非平衡領域では、その違いが感度よく現われるので、発光現象の解明には有効である。この性質を積極的に利用して、今ある励起断面積をより正確なものに修正できるのではないかと検討中である。

(平成 12 年 08 月 08 日受付)

文 献

- (1) プラズマ材料科学ハンドブック、オーム社 (1992)
- (2) 福山、伊藤、山本、生田:電学論 **116-A**,529~535(1996)
- (3) 福山、伊藤:電学論 **118-A**,543~548(1998)

福山 達也 (正員) 1967 年 12 月 9 日生。99 年 3 月、千葉工業大学大学院工学研究科電気電子工学専攻博士課程修了。現在千葉工業大学助手。博士 (工学)。放電現象、固体絶縁材料の研究に従事。

伊藤 晴雄 平成 12 年 5 月号参照