

1P067

マグネトロンスパッタリング法を用いたサイズ選別クラスター源の開発

(慶大理工¹、JST-ERATO²) 赤塚 紘己¹、角山 寛規^{1,2}、中嶋 敦^{1,2}

Development of size-selected cluster source based on magnetron sputtering

(Keio Univ.¹、JST-ERATO²) Hiroki Akatsuka¹、Hironori Tsunoyama^{1,2}、Atsushi Nakajima^{1,2}

【序】 数個から数百個の原子が集合したクラスターは、サイズ（構成原子数）によってその物性値が劇的に変化し、バルクや原子とは異なる新奇な物性の発見が期待できる魅力的な物質群である。これまで、当研究室において、気相レーザー蒸発法によって種々の新規クラスターの創出に成功しているが、これらの機能を開拓し、精密集積化によってデバイス応用へとつなげていく上では、その合成量の少なさを克服する必要がある。本研究では、クラスター大量合成を目指して、マグネトロンスパッタリング（MSP）法を用いたクラスター生成源を製作した。生成したクラスターイオンのサイズ分布を質量分析計によって評価し、クラスターの生成条件について検討した。

【実験】 装置の概略を図1に示す。この装置はクラスター生成部、イオン偏向部、質量分析部の3つの真空槽から構成されており、それぞれターボ分子ポンプで真空排気されている。スパッタリングに使われる Ar ガスの導入部はターゲットに吹き付けるように配置され、クラスター成長に使われる He ガスは液体窒素によって冷却されてからターゲット付近に流入する。成長セル内に設置した MSP 源のターゲットに DC 電圧を印加することで、マグネトロンスパッタリングを起こし、金属原子を生成する。生じた原子を冷却した He ガスで満たした成長セル（全圧 20 Pa、長さ 250-300 mm）で凝集させ、クラスターへと成長させた。生成したクラスターは、差動排気によって高真空領域に導入されるとともに、八重極イオンガイドおよびイオン偏向電極によって四重極質量選別器（Q-MS）へと導かれる。Faraday カップ検出器によってイオン電流を測定し、質量スペクトルを得た。Ag クラスター正イオンを対象として、装置の性能を評価した。加えて、Si クラスター負イオンを対象として、生成クラスターのサイズ分布に及ぼす Ar 流量の影響について調べた。

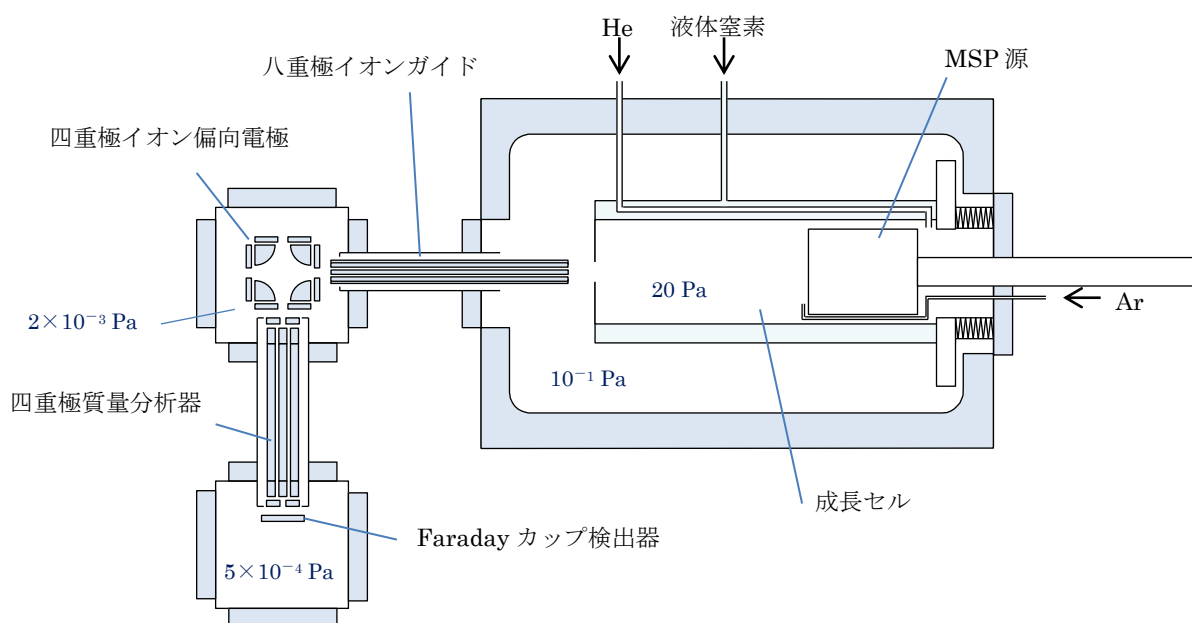


図1 マグネトロンスパッタリング型クラスター生成・分析装置の概略

【結果】Ag ターゲットを 20 W、He: 0.30 L/min、Ar: 0.16 L/min の条件でスパッタリングして得られた正イオンの質量スペクトルを図 2 に示す。質量スペクトルには、Ag クラスター正イオンの系列が観測され、1 量体から 140 量体以上までの生成を確認した。中でも $n=2\sim 20$ の領域が強く、例えば Ag_{10}^+ の強度は 500 pA 程度であり、これは標準的なパルスレーザー蒸発法の 100 倍程度である。また、130 量体付近でも 20 pA ほどあり、直径 7 mm の円に 3×10^4 個/ μm^2 (最密充填構造を考えた場合の 0.1 ML に相当) で蒸着するには 3 時間あれば十分である。加えて、図 2 には魔法数クラスター ($n=3, 9, 19, 21, \dots$) は強く観察されなかった。これは、準安定種の解離が起きないほどに、成長過程におけるクラスターの冷却が十分であることを示している。冷却を行わない場合は、1 量体のみが強く観測され、クラスターはほとんど観測されなかった。

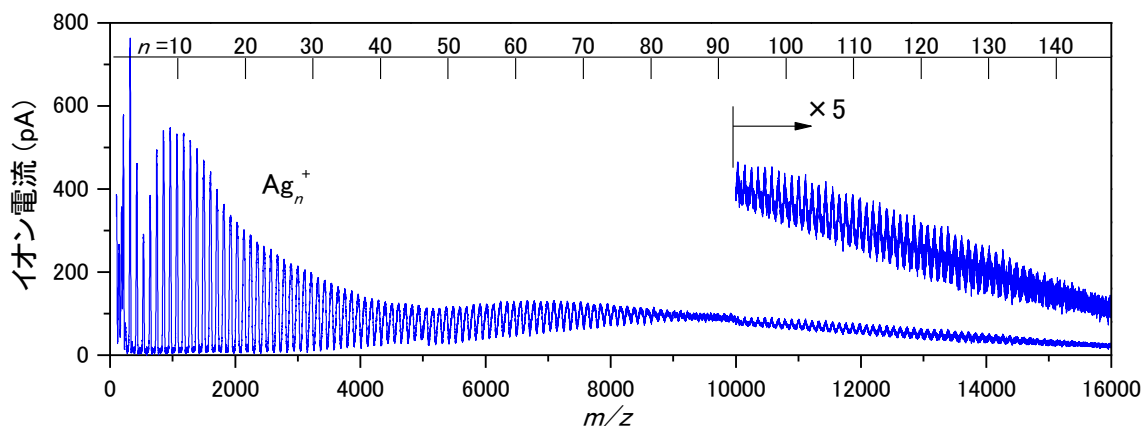


図 2 MSP によって生成した Ag クラスター正イオンの質量スペクトル。

Si ターゲットを 50 W、He: 0.20 L/min、Ar: 0.15, 0.17, 0.20 L/min でスパッタリングして得られた負イオンの質量スペクトルを図 3 に示す。Ar 流量が 0.17 L/min の場合には (図 3b)、Si クラスター負イオンの 6 量体から 25 量体までが生成し、この Ar 流量範囲ではピーク強度が一番強かった。最も強い Si_9^- のイオン電流は 500 pA であり、これも標準的なパルスレーザー蒸発法の 100 倍程度である。Ar 流量が少ない場合には (図 3a)、 Si_4^- の強度は増加する一方、 $n \geq 6$ の強度は減少し、確認できる最大サイズは 12 量体であった。Ar 流量が多い場合には (図 3c)、図 3b に比べて Si_4^- の強度が減少する一方、 $n=7\sim 11$ 付近が強いという特徴は変わらない。他方、 $n \geq 20$ の強度は増加し、最大サイズは 35 量体以上であった。これは、Ar 流量を増加させたことで、ターゲットから生成される中性原子の生成効率が向上し、クラスターの成長が促進されたためと考えられる。

以上、本研究では、高強度に金属および半導体クラスターを生成するクラスター源を開発した。Q-MS によって特定サイズのクラスターイオンを分離した後も 500 pA 程度の強度で得られ、標準的なパルス蒸発法に比べて 10~100 倍程度の高強度を達成できた。

【謝辞】装置製作にあたり有益なご助言を頂いた安松久登准教授 (豊田工大) と寺崎亨教授 (九州大) に心から感謝いたします。

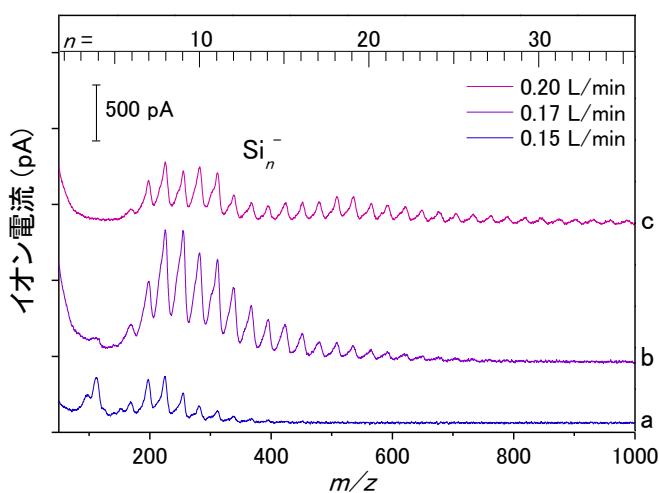


図 3 Si クラスター負イオン質量スペクトル。
Ar 流量を変えた時のサイズ分布の変化。