

論文内容の要旨

論文題目: RESONANCE IONIZATION MASS SPECTROMETRY
AND ITS APPLICATION TO RELATED FIELDS
(レーザー共鳴イオン化質量分析法と関連分野への応用)

氏名: 岩田 圭弘

レーザー共鳴イオン化質量分析法 (RIMS) はレーザー共鳴イオン化による元素の選択性と質量分析による同位体識別をセットにした微量元素分析手法であり、原子番号 Z と質量数 A を決定することで特定の原子のみを検出するものである。この方法では同重体による干渉が無いことから誘導結合プラズマ質量分析法 (ICP-MS) 等他の分析法に比べて S/N 比改善につながるとともに、加速器質量分析法 (AMS) のような大掛かりな装置を必要とせず手軽に行える点で大きなメリットがある。

しかしながら、RIMS の研究は Ca や Sr の同位体分析など特定の分野に限られている。そのため、本論文において、半導体ウエハの表面汚染評価技術への応用を提案した。また、共鳴イオン化に線幅の狭い CW 半導体レーザーを用いることで、原子の超微細構造観測への利用についても考察した。

これらを実証するため、実験では分析対象としてウエハ表面の代表的な金属不純物の一つであるカリウムを取り上げ、波長 405nm の外部共振器型半導体レーザーと波長 808nm 高出力 (ファイバー出力で約 50W) レーザーを用いて共鳴イオン化を行い、四重極質量分析計 (QMS) により質量分析を行った。試料には炭酸カリウム (K_2CO_3) を使い、700 – 900 °C 程度まで加熱して得られるカリウム原子ビームに対して、図 1 に示すスキームを用いて共鳴イオン化を行った。

図2にカリウム同位体 ^{39}K , ^{40}K , ^{41}K の $4^2\text{S}_{1/2}$ 基底状態の超微細構造を示す。

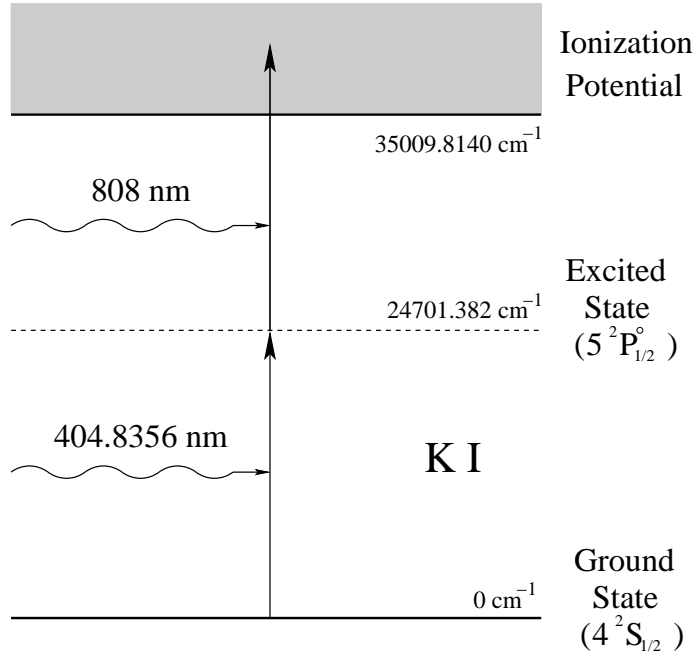


図 1: カリウム共鳴イオン化スキーム

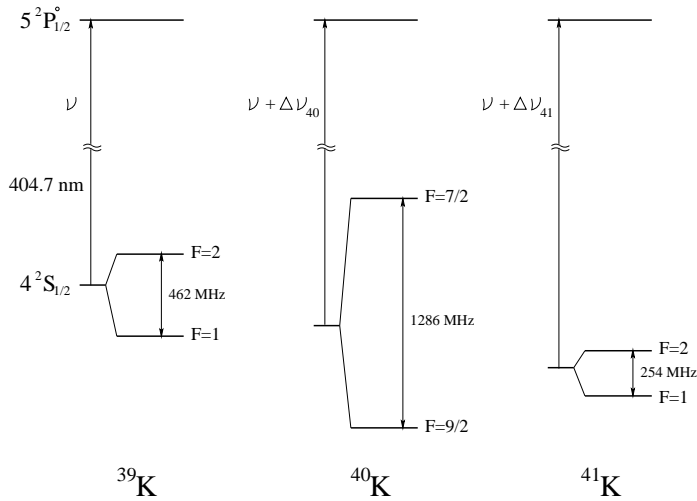


図 2: カリウム同位体 ^{39}K , ^{40}K , ^{41}K の $4^2\text{S}_{1/2}$ 基底状態の超微細構造

図3に示す測定セットアップのもと RIMS 検出を行い、検出効率 $\sim 10^{-6}$ を得た。RIMS の特徴としてバックグラウンドを大幅に軽減できているため、既存の手法と比較して半導体ウエハの表面汚染評価への有用性が大きいと判断した。分析対象によって外部共振器型半導体レーザーの波長、もしくは波長可変幅の広い OPO レーザー等を使い分けることで、あらゆる元素の汚染評価に対応できると考えられる。RIMS を用いた表面汚染評価は、国際リニアコライダー (ILC) 用ニオブ超伝導空洞の加速電場向上のための表面不純物分析にも有効と考えられる。

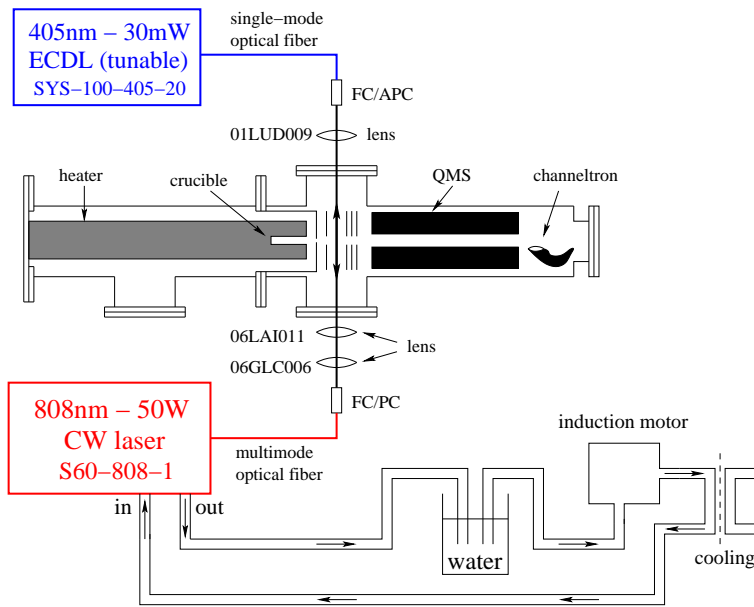


図 3: RIMS 測定セットアップ

また、共鳴励起用の 405nm レーザー周波数をスキャンさせることでカリウム各同位体 $4s_{1/2}$ 基底状態の超微細構造を観測した (図 4)。図 4 で各同位体の共鳴イオン化シグナルの相対的な周波数のずれが 405 nm 線における同位体シフトを示している。非対称ガウシアンによる fit も図示している。シミュレーションからスペクトルの非対称性は途中に挟んでいるオリフィスの軸からのずれに起因することが示された。超微細構造の分裂幅に文献値を用いて、405 nm 線における ^{40}K , ^{41}K 同位体シフト $207 \pm 13 \text{ MHz}$, $451 \pm 10 \text{ MHz}$ が得

られた。前者については、著者の調査した限りこれまでに実測例はない。

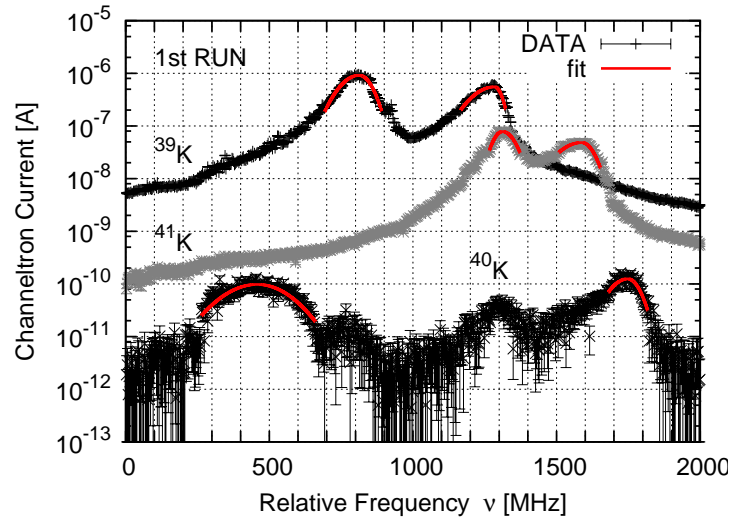


図 4: 405 nm レーザー周波数のスキャンによるカリウム各同位体 $4s_{1/2}$ 基底状態の超微細構造測定 (一例)