

プラズマ計測用ミラー材の光学的性質変化の基礎機構解明と材料創製

研究代表者名

九州大学・応用力学研究所・徳永 和 俊

研究分担者名

九州大学・応用力学研究所・藤原 正、荒木 邦 明

東北大学・金属材料研究所・永田 晋 二、土屋 文

1. はじめに

磁場閉じ込め型核融合炉のプラズマ対向材ではプラズマ粒子の照射により発生するスパッタリング等による表面形状変化、不純物の堆積による組成変化、さらに照射損傷等による構造変化が起こる。これらにより、プラズマ対向材料表面の光学的性質も変化することが予想される。特に、核融合装置の計測用ミラーとして鏡面研磨された金属が用いられるが、プラズマ粒子照射によるその第一ミラーの反射率の低下は大きな問題となっている。本研究では、プラズマ対向材の光学的特性変化の基礎機構を明らかにすることを目的として、タングステンに水素及びヘリウムビーム照射し、表面形状・組成変化を調べると共に、光反射率及び光学定数を調べた。

2. 研究経過

タングステンは、アライドマテリアル(株)製の粉末焼結タングステン(20 x 20 x 5(0.1) mm, 10 x 10 x 1 mm)を用い、表面を電解研磨後使用した。これらの試料に対して、水素及びヘリウムビーム照射を行った。水素ビームのエネルギーは19.0keVで、フラックスは最大 $1.9 \times 10^{21} \text{H/m}^2$ である。照射時間は、1.3~3.5sで、14~450回繰り返すことにより、 $10^{22} \sim 10^{24} \text{H/m}^2$ まで照射を行った。ヘリウムビームの場合は、エネルギーは18.7keV、フラックスは最大 $2.0 \times 10^{21} \text{He/m}^2$ である。照射時間は3.0~3.9sで、7~170回繰り返すことにより、 $10^{22} \sim 10^{24} \text{He/m}^2$ まで照射を行った。照射中、表面温度を放射温度計により測定した。照射中の温度は、照射開始と共に上昇し、照射終了と共に下降した。照射後、試料を取り出し、走査型電子顕微鏡(SEM-EDS)を用い表面形状・組成変化及び断面組織変化を観察すると共に、分光光度計を用い190nmから2400nmまでの反射率を測定した。この反射率測定では、入射角は 5° で、反射角は 5° の反射光を測定した。また、分光エリプソメータを用いて、光学定数を測定した。さらに、タンデム加速器を用いた弾性反跳粒子検出法(ERD)により、注入水素及びヘリウムの定量分析を行なった。

3. 研究成果

照射後の表面形状は、照射量、一回の照射における最高到達温度により異なっていた。また、水素ビームとヘリウムビームでは、その形状変化が異なっており、特にヘリウムビームでは照射温度が高温の場合、著しい表面形状変化が見られた。図1には、未照射材(a)及びヘリウムビーム照射後の試料(b-d)の反射率測定結果を示した。未照射の試料では、バンド間遷移による吸収によると思われるディップが見られる。照射量が $3.3 \times 10^{23} \text{He/m}^2$ で最高到達温度が1073K(b)では、表面はブリスターが剥離したものとと思われる直径 $1 \mu\text{m}$ 程度のくぼみやその底部には微細な凹凸が観察された。反射率は、図1(b)に見られるように低下しており、未照射材と比較しそのスペクトル分布が異なっていることから、表面の凹凸による単純な乱反射による低下ではないことがわかる。照射量が $5.0 \times 10^{23} \text{He/m}^2$ で最高到達温度が1833K(c)では、表面は微細な凹凸がみられた。反射率は図1(c)に見られるように波長と共にほぼ直線的に増加することがわかる。照射量が $3.3 \times 10^{23} \text{He/m}^2$ で最高到達温度が2873K(d)では、数百nm程度の突起状の凹凸が形成される等特異な票券構造が見られた。この場合、表面は黒色化し、図1(d)に見られるようにほとんど反射しないことがわかった。水素ビーム照射では、このような高温照射の場合は、原子拡散によりスパッタリング等による表面の凹凸が平坦化し、また、ヘリウム照射で観察された表面の黒色化は見られない。ヘリウム照射の場合は、高温までヘリウムがバブル状で存在し、これの合体、成長により突起上の凹凸が形成されたものと考えられる。これらの凹凸に加えヘリウムバブル内での光の多重散乱により、上記のような反射率低下が発生しているものと考えられる。

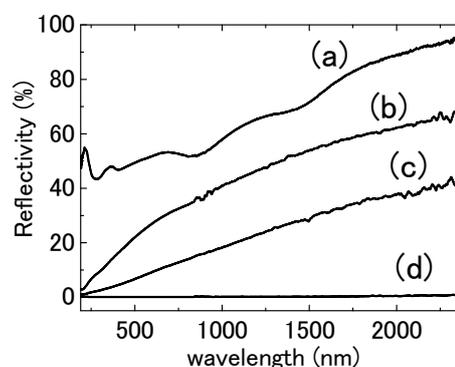


図1 ヘリウム照射による反射率変化

4. まとめ

タングステンに対して、水素及びヘリウムを照射し、その光学的性質変化を調べた。照射により、反射率が劣化し、そのスペクトルも変化することが明らかとなった。特に、バンド間遷移による光吸収が消滅することからフェルミレベル近傍の電子構造が変化しているものと考えられる。また、ヘリウム照射による特異な表面構造及び光反射特性は、その応用が期待される。