

## 照射損傷(ブリストリング)の遠方からの顕微鏡観察 -レーザー反射顕微鏡法- LONG DISTANT MICROSCOPE OBSERVATION OF RADIATION DAMAGE(BLISTERING) -LASER REFLECTION MICROSCOPE-

栗原 俊一 \*<sup>A)</sup>、小林 仁 <sup>A)</sup>、杉村 高志 <sup>A)</sup>、平野 耕一郎 <sup>B)</sup>  
Toshikazu Kurihara\*<sup>A)</sup>, Hitoshi Kobayashi<sup>A)</sup>, Takashi Sugimura<sup>A)</sup>, Koichiro Hirano<sup>B)</sup>

<sup>A)</sup>High Energy Accelerator Research Organization

<sup>B)</sup>Japan Atomic Energy Agency

### Abstract

A problem of irradiation damage is the one observed in each part of a component of particle accelerators; accelerating tubes, scrapers, monitors and neutron targets. In-situ observation by an actual proton accelerator is made our last target.

We observed the radiation damage of the various materials used by particle accelerators. From the distant place to the target which is in the high radiation area, we propose the method to get information from the catoptric light from the target using a laser as a light source. A principle of this observation method as well as generating process of blisterings and limitation of this method will be reported.

### 1. はじめに

照射損傷の問題は加速器の構成要素の各部分に観察される問題である。加速管、スクレーパー、モニター、そして標的と特に陽子加速器、イオン加速器では憂慮される問題である。われわれは、実際の加速器でのその場観察を究極の目標として、加速器で使用される様々な物質の照射損傷、特にブリストリングの観察を続け、光源としてレーザーを用い、その反射光からの情報により遠方で加速器の動作中のその場観察を行える方法を検討した。観察により得たブリストリングの生成過程とともに、この観察方法の原理、ならびに適用限界を報告する。

### 2. 照射中の照射損傷のその場観察

われわれは長距離偏光顕微鏡 (PLDM) を開発し、高エネルギー加速器研究機構つくばキャンパスにあるコッククロフト・ウォルトン前段加速器を用いて照射損傷、特にブリストリングの初期過程を観察、Cu,W,等のその場観察を行なった。その成果を用いて拡散接合による三層構造耐ブリストリング中性子標的を開発した。コッククロフト・ウォルトン前段加速器の750keVのH-ビームを用いたことにより、放射化しない環境で、ビームの照射される標的材料に近づいて、その場観察が行えた。開発されたPLDMの作動距離は通常の偏光顕微鏡の数mmに比べて加速器のビームライン中の標的を観察するために400mm程度の長距離のものである。この結果等詳細はRadioanal Nucl Chem [1] に発表してある。実際の中性子標的を観察するにあたっては常にその場観察が必要かどうかは別として、残留放射能を含めて放射線強度を考慮すると作動距離は400mm程度でも不十分となる。観察のための光学系に関しては観察系は遠方から拡大して観察する方法はあるが、問題は観察用の光源である。偏光の反射光強度の入射角依存性を積極的に利用して、中性子標的表面からのいわゆるブリュースター角近辺の光を使うために遠方から偏光を照射するの

には光源のパワーの関係から困難である。Figure 1に偏光の反射光強度の入射角依存性を示す。s偏光とp偏光で反射率が異なるのが要点である。一方、標的の近傍に偏光光源を用意することも偏光子の耐放射線性から制限を受ける。結局レーザー光を光源として遠方から照射し、その反射光を観察することとした。

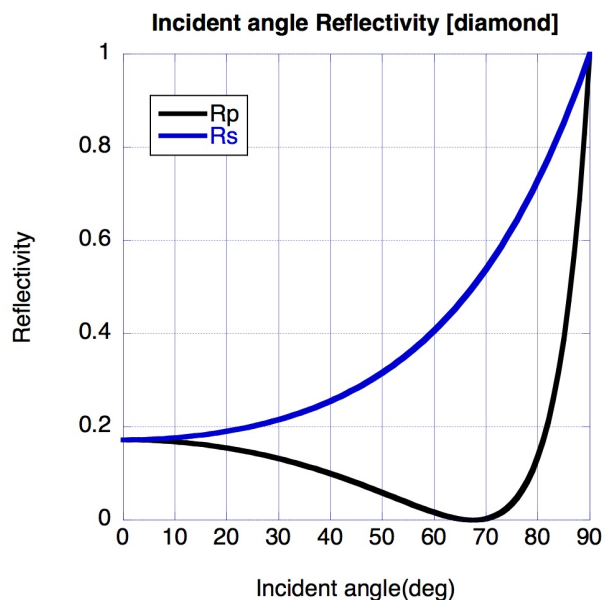


Figure 1: Incident angle dependence of the reflectivity of s and p polarized light from the diamond surface.

### 3. レーザー反射顕微鏡 (LRM) 法

通常の偏光顕微鏡は透過光を利用しているが、ここでは中性子標的やスクレーパーなど金属等の表面観察を目的とするため反射光を用いることになる。その原理を Figure 2 に記す。多くの中性子源がそうであるように、中性子発生用標的の周辺の空間を確保

\*toshikazu.kuriharai@kek.jp

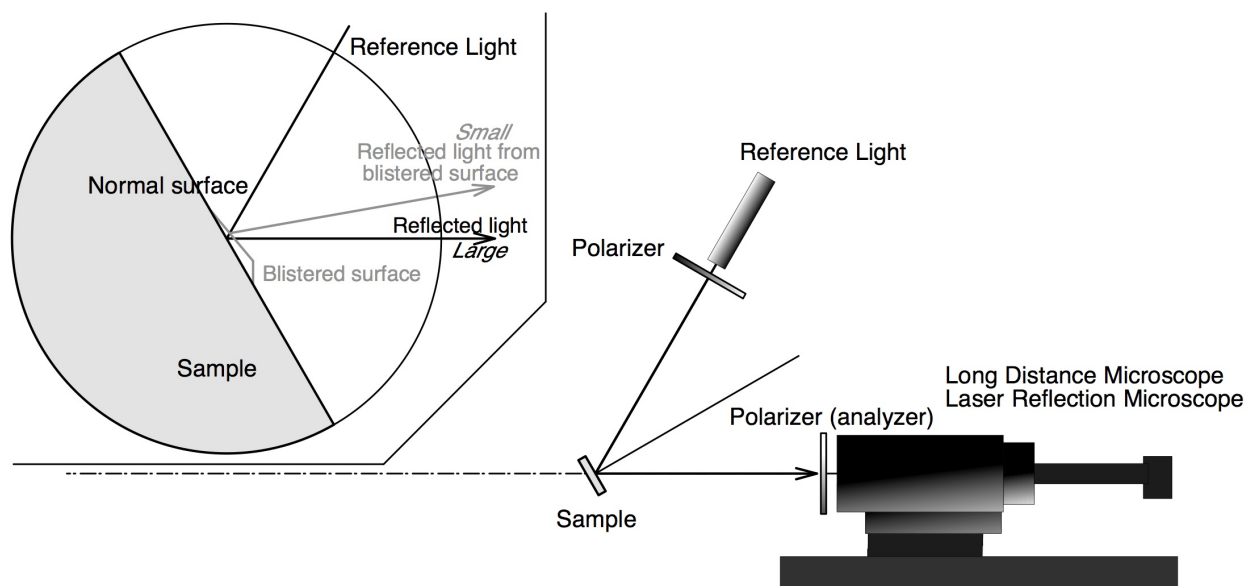


Figure 2: Concept of the PLDM/LRM.

することは困難である。基本的に中性子標的への陽子ビームの照射ビームライン以外は遮蔽体が設置され、中性子標的へ光学系を持ち込むのは困難を極める。我々は標的直前の偏向電磁石の外側に観察用光学系の入射系（光源）、反射系（望遠顕微鏡）を一体化して設置し、偏向電磁石ダクトの40mm程度の空間から中性子標的表面の照射損傷の情報、レーザー反射像(LRI)を得ることとした。

## 4. 観察結果

### 4.1 銅

750keV H-で照射した試料を照射中の3時間にわたってPLDMで観察し、その照射損傷の挙動を記録した[1]。ブリストリングの観察される照射量はほぼ定量的にBINPのグループによる結果と一致を見ている[2]。同じ試料を今回開発したレーザー反射顕微鏡で観察し、ブリストリング特有の機構から来る像を得た。

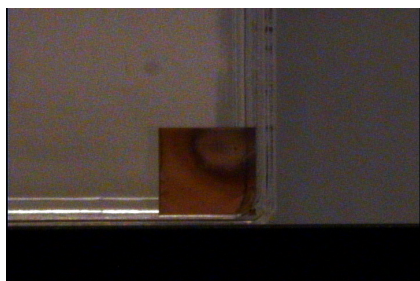


Figure 3: Copper sample irradiated by 750keV H- beam with visible light.

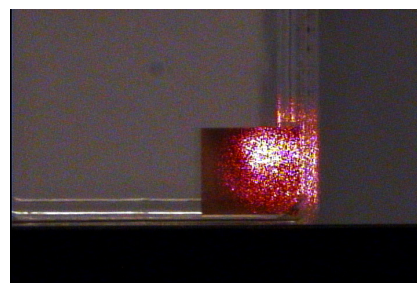


Figure 4: LRI of copper sample irradiated by 750keV H- beam.

### 4.2 タングステン

750keV H-で照射した試料に関して、照射前のタングステンと照射後のタングステンの照射損傷の様子をLRIに得た。赤い輝点が二つ見えるのは試料ホルダーによるものである。

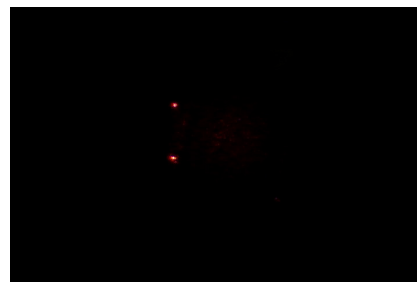


Figure 5: Tungsten sample of non irradiated.

### 4.3 C/C材

J-PARCのリニアックとは別に構築された3MeVリニアックでH-ビームを用いて照射した試料を観察し

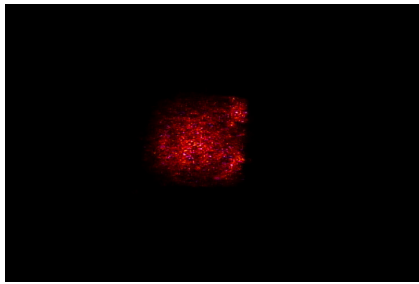


Figure 6: Tungsten sample irradiated by 750keV H- beam.

た。条件をいろいろ変えて試みてみたが C/C 材特有の照射損傷を観察することはできなかった。ビームの当たった部分と当たらない部分の境界に沿って観察してみたが、違いを観察することはできなかった。他の金属系の試料とは異なり炭素材料は光の反射率が一般的に低い。また、C/C 材は肉眼では照射により針状の構造物が生成されるのが判る。入射光の角度による反射率の偏光の方位角による違いを利用する方法が有効ではないというのが現在の結論である。

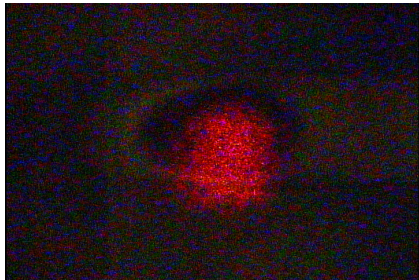


Figure 7: LRI of C/C scraper surface around the irradiated boundary of 3MeV H- beam.

#### 4.4 ベリリウム

ベリリウムに関しては、製造直後、試料を機械的に切り出した際に見られるバルクの構造の緩和と考えられる像が見られた。

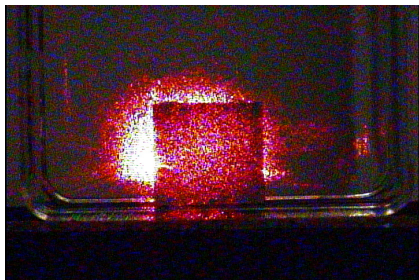


Figure 8: Beryllium sample of as grown.

## 5. まとめ

中性子標的など陽子ビームの照射等により放射化して通常の顕微鏡観察が困難な物質に関して、遠方より照射による損傷の程度を把握するための観察方

法を開発した。陽子ビームによる照射損傷、いわゆるブリストリングの生成に伴う表面の欠陥がいくつかの金属試料に関して観察された。金属中のブリストリング生成のメカニズムからこれらに特有の光の反射が見られた。ブリストリングの成長の結果、金属表面に到達する空洞が形成され、その内面が一種の凹面鏡様となって外部からの光の反射が観察されたと考えられる。微小なブリストリングからの反射像がその分布を反映したものとなっていると結論される。このような機構は単純金属に見られると思われ、合わせて観察をおこなった C/C 材では明瞭な結果は得られなかった。これらの状況から欠陥の機構を想定し、その適応範囲で用いれば高放射線場での照射損傷観察に応用できると考えている。

## 参考文献

- [1] T. Kurihara *et al.*, "Neutron target research and development for BNCT: direct observation of proton induced blistering using light-polarization and reflectivity changes", J Radioanal Nucl Chem, 2015 DOI 10.1007/s10967-015-4056-y.
- [2] Astrelin VT, Burdakov AV, Bykov PV, Ivanov IA, Ivanov AA, Jongen Y, Konstantinov SG, Kudryavtsev AM, Kuklin KN, Mekler KI, Polosatkin SV, Postupaev VV, Rovenskikh AF, Sinitskiy SL, Zubairov ER J Nucl Mater 396, 2010 43 48.