

Comparison of OTR from rough screen with He-Ne laser

Hayato Aki*^{A)}, Shusuke Nishiyama^{A)}, Satoshi Tomioka^{B)},

^{A)}Graduate School of Engineering, Hokkaido University

North 13, West 8, North ward, Sapporo, Hokkaido, Japan

Abstract

OTR(Optical Transition Radiation) is used for beam diagnostics. In these systems, rigorous alignment is required because OTR has a sharp angular distribution. Therefore we have attempted to make the angular distribution of OTR diffused by using a rough screen. We have compared OTR with He-Ne laser from rough screen to investigate OTR from the rough screen of approximately ten μm . In the result, we think OTR is emitted like a reflection from plane that had various directions from rough screen about ten μm partiality.

表面を粗くしたスクリーンからの遷移放射光と可視光レーザーの角度分布比較

1. はじめに

遷移放射光 (Optical Transition Radiation:OTR) は、高エネルギーを持つ荷電粒子が密度の異なる境界面を通過する時に生じる電磁放射である。入射荷電粒子により局所的に誘起された表面電流が電磁放射を引き起こしている。また優れた空間分解能・時間分解能をもっている。

OTR はビームプロファイル測定に利用される。その時、ビーム強度の損失やスクリーンの放射化などの問題が生じるが、薄膜や箔を用いることで影響を減少させることができる。しかし、OTR は鋭い指向性 ($1/\gamma$) を持つため、測定系の軸合わせで高度な測定体系が必要となったり、ビーム位置が変動するような状況での測定は困難である。

そこで、ビームモニターのセットアップに対する制約を緩和させるために OTR スクリーンを粗く加工し OTR の指向性を緩やかにすることを試みた。ただし OTR スクリーンの表面を粗くしすぎてしまうと発光強度や空間分解能が低下してしまうため、粗さの異なる面で指向性や強度を調べ、He-Ne レーザーによる可視光の反射を比較した。

2. 実験

2.1 実験体系

実験体系を図1に示す。実験は北海道大学のライナックで行った。OTR スクリーンに入射するビーム径をコリメーターで直径 3mm とした。OTR スクリーンとビーム軌道上との角度が 45 度になるように設置し OTR スクリーンから発生する OTR を CMOS カメラでとらえた。また、カメラ F はレンズの焦点面にイメージセンサがくるようにレンズをセットした。こうすることで、スクリーンから放射したレンズの中心軸に対しある角度 θ を持って入射した平行なすべての光をイメージセンサ上の同じ点へ集束させた。同様に直径 3mm の He-Ne レーザー光を OTR スクリーンに照射し、OTR と He-Ne レーザー光の反射の強度と角度分布の関係を比較した。

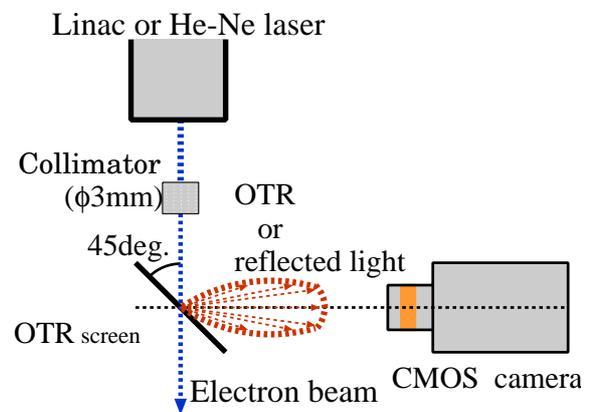


図 1: 実験体系図

表 1: 実験条件

加速器のエネルギー	45MeV
パルス幅	50ns
レンズの焦点距離	8.5mm

2.2 OTR スクリーン

OTR スクリーンには加工の容易さから Al を用いた。OTR スクリーンの大きさは厚さが約 0.5mm、縦と横の長さを約 7mm とした。この OTR スクリーンの表面を鏡面加工した後、OTR スクリーンの表面に向かってガラスビーズをサンドブラストによって吹きつけることで表面を粗く加工した。この時使用したガラスビーズの大きさは平均直径が $80\mu\text{m}$ (#240) と $215\mu\text{m}$ (#80) の 2 種類を用いた。表面粗さを評価する量として粗さ勾配 θ を図 2(d) のように

$$\theta = \arctan \frac{d}{w} \quad (1)$$

定義した。また、 W と d は表面の SEM 画像から平均値を求め θ を計算した。サンドブラストでガラスビーズを吹きつける時の圧力を変化させることで凹みの深さ d 、幅 w を変え、粗さ勾配の異なる OTR スクリーンを作製した。

* aki@athena.qe.eng.hokudai.ac.jp

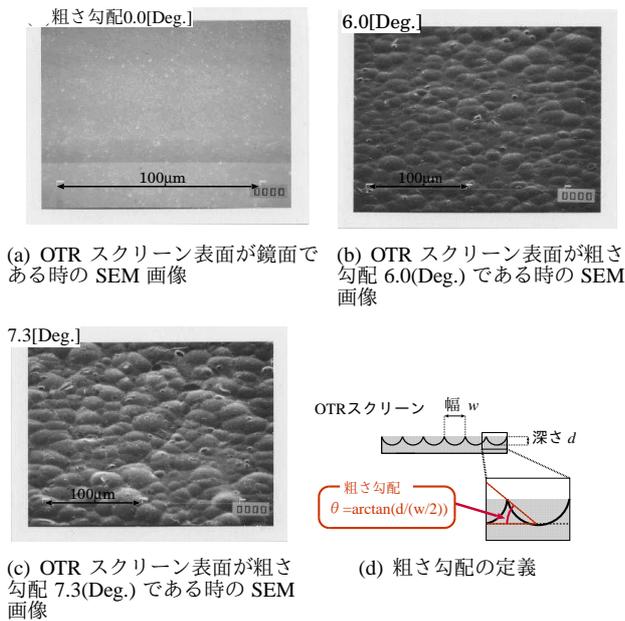


図 2: OTR スクリーン表面の SEM 画像

3. 結果

図 3 に OTR の角度分布、図 4 に He-Ne レーザーの角度分布を示す。これらの画像の中心の横軸から強度と角度分布をまとめたものを図 5、図 6 に示す。図 3 の (a) は OTR スクリーンの表面状態が鏡面である時の OTR 発光角度分布で環状の分布になっている。また図 3 からは粗さ勾配が大きくなるにつれ OTR の角度分布が拡がり、強度が低下してゆくことがわかる。図 4 の (a) は OTR スクリーンの表面状態が鏡面である時の He-Ne レーザー反射光の角度分布で 0.5(Deg.) の拡がりとなっている。図 4 からも OTR の場合と同様に粗さ勾配が大きくなるにつれて He-Ne レーザーの反射光の角度分布が拡がり、強度が低下してゆくことがわかる。

図 3 から図 5 を、図 4 から図 6 をまとめた。図 5 の横軸は OTR の角度分布、縦軸は強度を示している。また、粗さ勾配 0.0(Deg.) の発光は実際の 12 分の 1 倍、粗さ勾配 6.0(Deg.) の発光は実際の 5 分の 1 倍に縮尺してある。同様に図 6 の横軸は He-Ne レーザー反射光の角度分布、縦軸は強度分布を示している。また、粗さ勾配 0.0(Deg.) の反射光は実際の 12 分の 1 倍、粗さ勾配 6.0(Deg.) の反射は実際の 3 分の 1 に縮尺してある。

3.1 OTR と He-Ne レーザー反射光の半値幅の比較

図 5、図 6 の角度分布から半値幅を図 7 にまとめた。図 7 は横軸に OTR スクリーンの粗さ勾配、縦軸に OTR と He-Ne レーザーの半値幅をとったものである。粗さ勾配が小さい領域では He-Ne レーザーより OTR のほうが半値幅が大きくなっている。これは OTR が $1/\gamma$ の角度拡がりを持って発光しているためであると考えられる。粗さ勾配が大きい領域では OTR と He-Ne レーザーの半値幅がほぼ一致した。粗さ勾配が小さい領域と大きい領域では急激に半値幅が変化しているが、これは粗さ勾配が小さい領域では鏡面反射成分の影響が強く表れ、粗さ勾配が大きい領域では鏡面反射成分がなくなり拡散

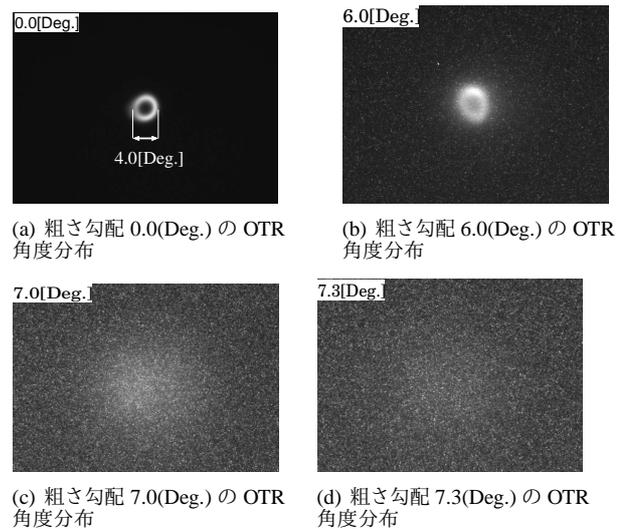


図 3: OTR の角度分布画像

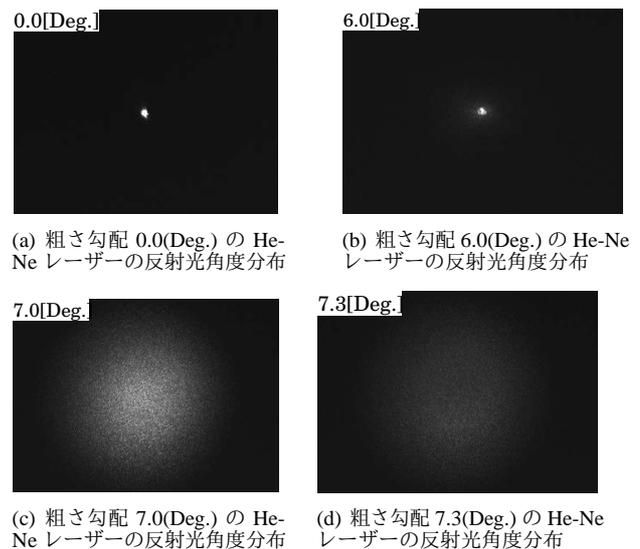


図 4: He-Ne レーザーの角度分布画像

反射成分の影響が表れているためであると考えられる。

4. まとめ

OTR と He-Ne レーザー反射光の角度分布を比較することにより、粗さ勾配が小さい領域では OTR の $1/\gamma$ の角度拡がりにより He-Ne レーザーの反射光より若干半値幅が大きく、粗さ勾配が大きい領域では He-Ne レーザーの反射光と OTR の半値幅がほぼ一致した。同じ粗さを持った OTR スクリーンからの OTR と He-Ne レーザーの鏡面反射成分と拡散反射成分には関連性があることがわかる。このことから凹みの幅が数十 μm 程度の OTR スクリーンからの OTR は局所的には様々な方向を向いた平面からの反射と同様に発光していると考えられる。

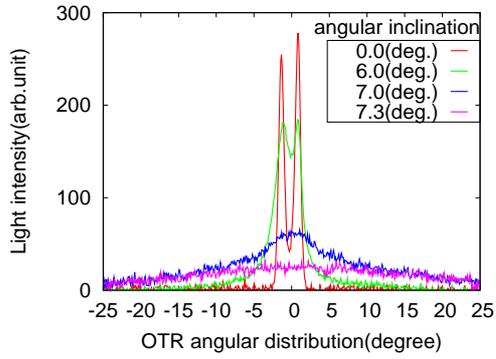


図 5: OTR の強度と角度分布の関係

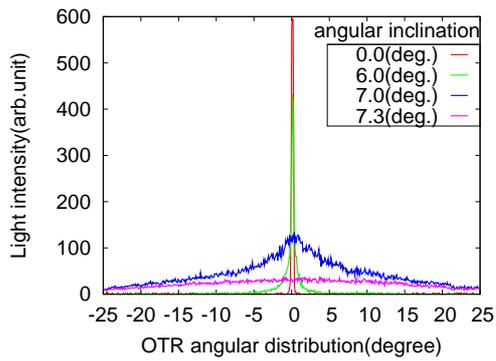


図 6: He-Ne レーザー反射光の強度と角度分布の関係

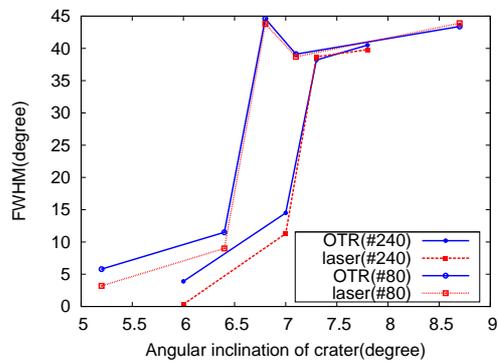


図 7: 粗さ勾配と半値幅の関係