

ダイヤモンドを用いた高輝度X線ビームモニタ

横田嘉宏*¹(工博)・橘 武史*²(Ph.D.)

*¹技術開発本部 電子技術研究所 *²技術開発本部 電子技術研究所 (現 知的財産部)

X線自由電子レーザー(XFEL)は、極短時間の化学反応過程や、金属材料中の微小介在物の構造/状態観察も可能であり、新機能材料の開発において強力なツールになると期待されている。しかしながら、従来の空気電離箱によるビームモニタでは、高輝度X線に対して出力が飽和するなど、ビーム強度と位置決め精度において問題があった。

一方、ダイヤモンドは軽元素の炭素でできていることから、X線透過性や耐X線性に優れ、さらには高輝度X線ビームモニタに求められる耐熱性や高熱伝導性も兼ね備えている。そこでダイヤモンドを用いたX線ビームモニタの開発を試み、兵庫県佐用郡の大型放射光施設(以下、SPring-8という)でその有用性を実証した。

本モニタは、X線が気相合成(Cheical Vapor Deposition: CVD)多結晶ダイヤモンドに入射した際に発する(励起する)可視光を利用した「励起光型」であることが特徴で、ダイヤモンドの合成条件や形状の制御により、励起光強度が高輝度X線ビームの大きなダイナミックレンジにも忠実に追従するようになった。さらに位相乱れの問題も克服し、透過モードにおいてもビーム位置と強度を正確に検出できるようになり、分析精度向上や時間短縮が可能になった。

作製方法

シリコン基板(20mm^W×18mm^D×0.5mm^t)にマイクロ波プラズマ法を用いて多結晶ダイヤモンドを成膜した後、表面を平坦化研磨した。つぎに、基板中央φ10mm領域のシリコンを薬液で溶解除去し、シリコン枠つきダイヤモンド・メンブレンを作製した(図1)。なお、ダイヤモンドの膜厚は、5keVのX線で95%以上の透過率が得られ、取扱い強度が確保できる30μmとした。また、X線ビームは、ダイヤモンドで一部のエネルギーを失って熱に変わるが、それによって生じる温度・応力分布を有限要素法解析で予測した。ダイヤモンド膜の熱伝導率を600W/m-Kと仮定して解析した結果、450W/mm²の入

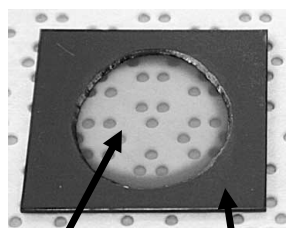


図1 X線ビームモニタ用ダイヤモンド・メンブレンの外観

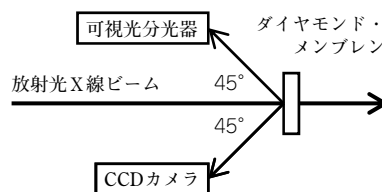


図2 ダイヤモンドX線ビームモニタの模式図

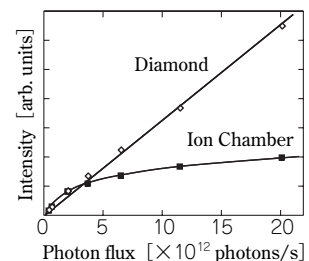


図3 透過X線強度(光束)に対するダイヤモンドX線ビームモニタおよび空気電離箱の出力強度

射ビーム最大パワー密度に対して、ビーム透過領域の最高到達温度は500K未満と算出された。これに伴う最大変形量は0.7μm、発生する応力は、ダイヤモンド・メンブレンで600MPa、シリコン支持枠で160MPaであり、十分な機械的強度が担保できると見積もられた。

評価方法

上述のダイヤモンド・メンブレンを水冷式ホルダに装着し、SPring-8の標準型アンジュレータX線ビームラインの真空チャンバ内に設置した(図2)。X線ビームの直径は約1mmで、ダイヤモンドを透過するとき、その場所で可視光が励起され発光する。この励起光を可視分光器で観測したところ、560nm付近に最大強度があるブロードなスペクトルであった。この可視光をCCDカメラで捕らえることによって位置および強度を計測した。また、透過X線の位相乱れの評価も行った。なお、ビーム位置検出と位相乱れの評価には単色X線(12.4keV)を、励起光強度の評価には準白色X線をそれぞれ用いた。

結果

<ビーム位置検出>励起光の画像重心として観測・算出されたX線ビーム位置は、従来の標準モニタによる計測結果とよく一致した。

<励起光強度>図3はX線ビーム強度(光子束)に対するモニタ出力の依存性である。ダイヤモンド・モニタでは、CCDカメラの全ピクセル信号量の総和で記した。3×10¹² photons/s以上の強度領域では、従来用いられている空気電離箱の出力は飽和傾向を示すのに対し、ダイヤモンド・モニタでは良好な直線性を保っていることがわかる。

<X線の位相乱れ>1km長尺ビームラインでダイヤモンド・メンブレンを透過したX線を観察、評価した。その結果、コヒーレントX線透過のnear/far像ともスペクトル・ノイズが極めて少なく、位相乱れを抑制できていることを確認した。