

新規分光結晶用ホルダーでの結晶評価

内田 佳伯^{*1}, 五十嵐 教之^{*1}, 杉山 弘^{*1}, 亀卦川卓美^{*1}, 伊藤 健二^{*1}

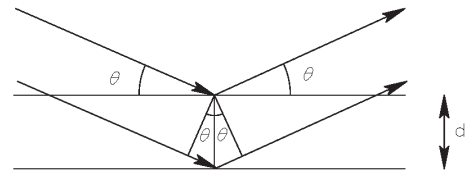
^{*1} 高エネルギー加速器研究機構 物質構造科学研究所

1. 概要

高エネルギー加速器研究機構 物質構造科学研究所 放射光科学研究施設 AR-NE1 では分光結晶の冷却に直接冷却を用いており、分光結晶に冷却水を導くホルダー(冷却ホルダー)に O リングを取り付け、O リングを通じて冷却水を流す構造を採用している。従来はビームラインの上下流に O リングがあったため、放射線による劣化により固化し約 1 ヶ月で冷却水が真空槽の中に漏れ出し、その都度 O リングを交換しなければならない問題が生じていた。そこで新規分光結晶ホルダーを作成した。

2. 分光結晶とは

円形加速器を電子、陽電子などの荷電粒子が光速に近い速さで回っている場合、それらが磁場によって軌道を変えられる時、電磁波が放射されるがそれを放射光と言う。放射光は可視光から X 線の領域までの幅の広いエネルギーの範囲を含む連続光であるが、ユーザーにとって必要なエネルギーをもった光を取り出す必要があり、ほしい光を取り出す際に分光結晶を用いる。原理は結晶に光が角度 θ で入射した場合、 $2d\sin\theta = n\lambda$ (ブラッグの条件)を満たす光だけが反射するため(図 1)、格子定数が既知な結晶への入射角をかえるだけで任意の光を取り出せることである。



光路差が波長の整数倍の時強め合う $\rightarrow 2d\sin\theta = n\lambda$

d: 格子定数 θ : 入射角 n: 正の整数 λ : 波長

図 1 ブラッグの条件

3. 間接冷却と直接冷却

分光結晶には低くて数 W、高いと 1kW 以上の熱負荷が生じるため結晶を冷却する必要がある。冷却方式は大きく分けて間接冷却と直接冷却がある。が、間接冷却は冷却した銅ブロック等の上に結晶を置き、間接的に結晶を冷却する方式であり低熱負荷のビームラインで採用されている。しかし高熱負荷のビームラインでは間接冷却方式では熱を取りきれないため、図 2 に示すように冷却効率を上げるため結晶に溝を切り、溝に冷却水を流し直接結晶を冷却する直接冷却方式を採用する。新規分光結晶用ホルダーはこの直接冷却結晶に関するものである。

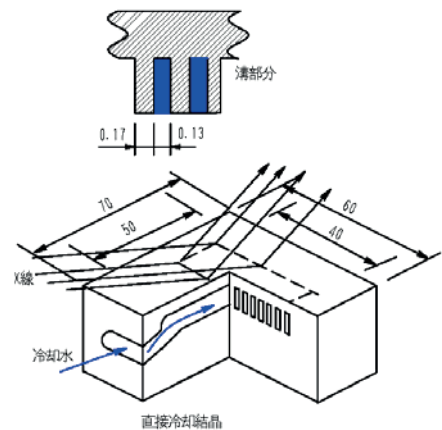


図 2 直接冷却結晶

4. 従来の分光結晶用ホルダーと問題点

従来の結晶ホルダーを図 3 に示す。構造は、①装置に固定する AI 製のベースに SUS 製のガイド金具を取り付ける②ガイド金具間に分光結晶を置く③SUS 製の冷却ホルダーをガイド金具にボルトで締め付けることで O リングを通じて冷却水が結晶に流れる。また押さえ金具により結晶が締め付け時等で上に動かないようになっている。しかし、図 4 から明らかなようにこの構造では結晶を通過した放射線が下流の O リングにあたる構造となっているため、1 ヶ月もすると O リングが固化してし

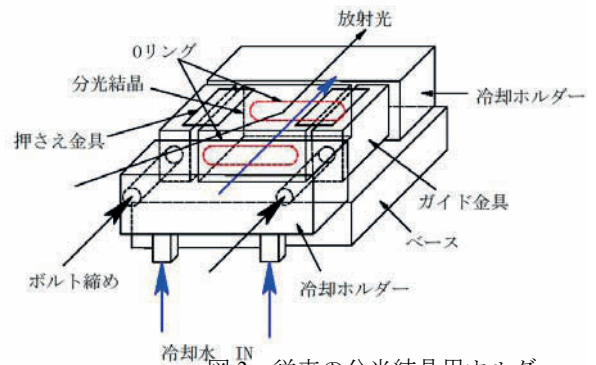


図 3 従来の分光結晶用ホルダー

まい冷却水が真空槽の中に漏れだし真空が悪化していた。その結果約1ヶ月程度でOリングを交換する必要が生じていたため、その都度①真空槽を大気に開放する②Oリングを交換する③真空引きをする④アライメントをし直す問題点を生じていた

5. 新規分光結晶用ホルダー

設計した新規分光結晶用ホルダーを図4に装置に組み込んだ写真を写真1に示す。従来の結晶を90°回転して配置し、これにより放射線が直接Oリングにあたらない構造となっている。結晶の取り付け方法は従来と同じであるが、配管を避けるためのベース金具の切れ込みの大きさ、水冷配管が取り回しのため長くなっている。この新規分光結晶用ホルダーの構成部品であるベース金具、ガイド金具、水冷ホルダー、押さえ金具等は機械工学センターで作製していただき、水冷配管は外注業者に依頼したが水冷配管を水冷ホルダーに溶接する作業も機械工学センターでしていただいた。しかし、このホルダーの設計に際し以下の問題があった。①水冷配管が従来の配管より長くなっており、また配管が固定されていないため冷却水が流れる際配管が振動し、配管→水冷ホルダー→分光結晶の順に振動が伝わり出射ビーム強度が一定とならない等の問題②分光結晶に冷却水を流すため溝が切られているが、この向きが入射光と直角になるため性能が悪くならないかという点である。具体的には写真2は従来と同じ向きに結晶を置いており、冷却水は入射光と平行に流れている場合の結晶表面温度の写真であるが測定した結晶はAR-NE1の結晶と比較して溝幅・間隔とも大きい。AR-NE1での結晶は溝幅・間隔とも写真2の結晶より狭いため写真2に見られるような温度勾配はなく、あっても小さいと考えられ、温度勾配があると結晶が歪んでしまい性能が悪化することになってしまう。新規ホルダーでは冷却水が流れる向きが入射光と直角つまり、温度勾配の向きは入射光と直角となり、取り出すエネルギーを変化させる場合等に温度勾配のある方向に結晶を回転させることとなるため性能が悪くならないかという点である(図5)。

6. 結晶評価

結晶評価は高エネルギー加速器研究機構 物質構造科学研究所放射光科学研究施設AR-NE1で行った。図6に測定した30keVでのシリコン111のロッキングカーブを示す。ロッキングカーブは第1結晶(新規ホルダーがついた結晶)を回転することで行った。半値幅の理論値は $\sqrt{2}\omega$ で約2.53秒であるが、従来と新規ホルダーでの半値幅はほぼ同じでかつ理論値とほぼ一致しており懸念された温度勾配の方向に結晶を回転することでの性能劣化は見られなかった。また振動の影響もなかったため問題なくビームラインで使用できる結果が得られた。

そのため約1ヶ月程度のユーザー運転してみたが従来のような真空悪化もなかった。約1ヶ月運転後のOリングの状態

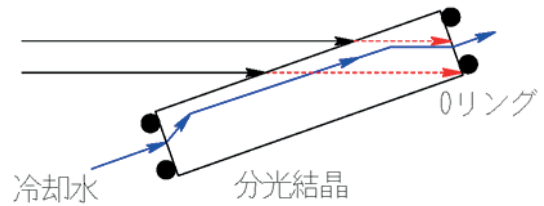


図4 Oリング劣化の原因

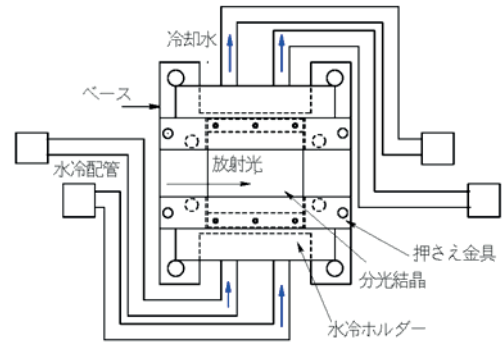


図5 新規分光結晶用ホルダー



写真1 装置に組み込んだ写真

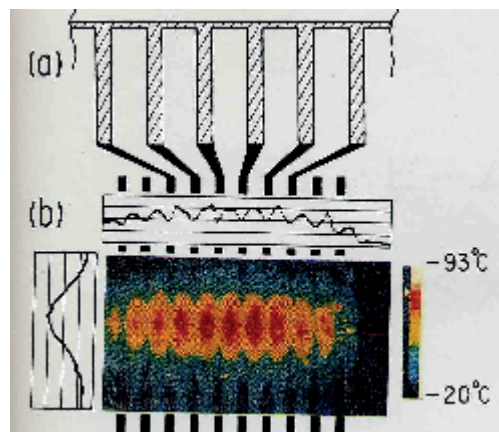


写真2 結晶表面温度

を確認するため、ホルダーからOリングを取り外してみたが従来のように固化していることはなかった。以上の結果より、新規ホルダーは有効である結論が得られ、ビームラインで継続使用することとなった。

7. 今後について

約1ヶ月程度の運転でしかOリングの状態等を見ていないため、長期間ユーザー運転し性能が変化しないこと及びOリングがどれくらいもつかビームラインで試す予定である。

8. 謝辞

外注業者に依頼すると高額な費用がかかる所、冷却水の漏れのないSUS製の水冷ホルダーのOリング溝切り、水冷配管と水冷ホルダーの溶接(写真3)等の加工でありかつ、納期的に厳しいにも関わらず早めに納入していただいた機械工学センターの方々には深く感謝いたします

9. 参考文献

OHO 93 「高熱負荷」 竹下邦和

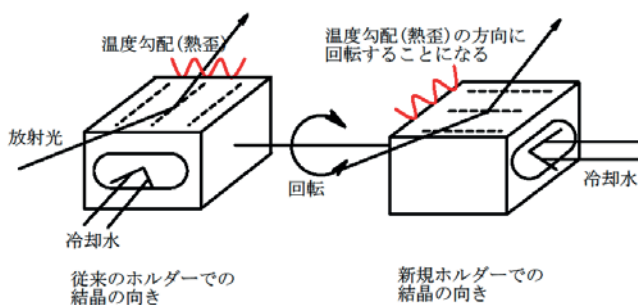


図5 新規分光結晶用ホルダーの問題点

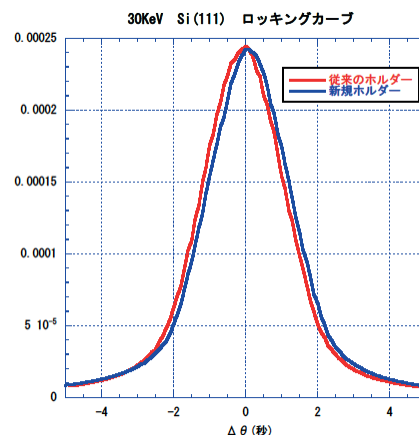


図6 Si(111) 30keV でのロッキングカーブ



写真3 水冷ホルダー