

高圧中性子回折実験に用いる、金属ガラスガasketの開発

東京大学大学院・理学系研究科附属地殻化学実験施設・小松 一生
 東京大学大学院・理学系研究科附属地殻化学実験施設・鍵 裕之

1. はじめに

近年、申請者らは茨城県東海村に建設された世界最高クラスの中性子強度を発生する大強度陽子加速器施設/物質生命科学実験施設(J-PARC/MLF)において、高圧力下におけるその場中性子回折に取り組んでいる。中性子回折はX線回折では得られない軽元素を含む構造情報や磁性の情報を得ることができるが、そのビーム強度の弱さから、高圧下での利用には大きな制約がある。そこで使用する高圧容器の材料やデザイン、専用の光学系のデザインの高圧実験への最適化が必要になる。その中でも、

「大きな試料体積を保ちつつ高圧発生が可能なガasket」

の開発は、最重要課題の一つである。大きな試料体積は弱い中性子強度を補うが、それだけ高圧発生が困難になる。この相反する要求を満たすには、「高い引張強度」を持つ材料が不可欠であり、金属ガラスに注目した。本研究では、数多くの金属ガラスの中でも中性子に対する透過性が良いジルコニウムをベースにしたものを用いて、実際に中性子透過率の波長依存性を調べ、高圧セルであるダイヤモンドアンビルセル(DAC)やパリーエジンバラセル(PE-cell)のガasketの形状に加工し、実際に使用できるかどうかをテストした。DACとは、2対のダイヤモンドで10~100mm程度の試料を加圧する装置である。DAC用ガasketは厚さ0.1mm程度の板に0.3mm程度の微小孔をあけ、その中に試料を封入する。一方、PE-cellでは、外径10mm、内径6mm、厚さ2mm程度のリングの内側に試料を封入し、炭化タングステン等の超高アンビルで加圧する。そのため、PE-cellはDACよりも大きな試料を加圧することができるが、ガasketとしてバルク材を必要とする。

2. 研究経過

金属ガラス総合研究センター横山嘉彦教授から供与されたZr基金属ガラス($Zr_{55}Cu_{30}Ni_{5}Al_{10}$)を試料として、J-PARC/MLFにあるビームラインB19/匠において、中性子透過率測定を行った。5mm程度のボロン製のスリットを通過した白色中性子を用い、試料を透過した中性子と何も無い(空気中)での中性子強度を、飛行時間法を用いて中性子波長ごとの強度として測定した。比較として、これまでガasketとしてよく用いられている $Ti_{52.5}Zr_{47.5}$ (null metal)についても中性子透過率の測定を行った。その結果、Zr基金属ガラスは5mmで18%減衰し、減弱係数は波長にあまり依存せず $0.04mm^{-1}$ 程度であった。これは、TiZrと同等の透過率であるが、長波長側ではわずかではあるがZr基金属ガラスのほうが透過率が良い。またこの結果は、化学組成から予想される中性子透過率ともよく一致するため、今後は化学組成のみからでも透過率は予想できると考えられる。例えば、Pd基金属ガラス($Pd_{40}Ni_{40}P_{20}$)の中性子透過率は $0.10mm^{-1}@1.0\text{\AA}$ 、 $0.16mm^{-1}@4.0\text{\AA}$ と計算されるが、Zr基の方がはるかに透過率が良いことが予想される。

このZr基金属ガラスを、DACおよびPE-cell用ガasketとして加工し、加圧実験を試みた。予想に反して、大きな変形を伴うDAC用ガasketについては、通常用いられるSUSやレニウム等の金属と遜色なく使用することができた。特にSUSに比べると、試料を封入する穴の広がり少なく、安定して加圧できているようである。しかし、微小孔を開ける際に加工に用いた超硬ドリルの摩耗が激しく、常用として使用するには問題がある。ブラックピークを出さないという金属ガラスの利点が活かされるような実験に限って使用されるべきであろう。一方、PE-cell用ガasketとしては、これまでいくつかの形状を試したが、いずれも荷重が10ton程度でガasketが破壊・ひび割れをおこしてしまい、加圧には成功していない。さらなる形状の改良、圧力封じ込めの着想転換が必要である。

3. 研究成果

現在のところ、学会・学術雑誌への報告はありません。

4. まとめ

ガasketとして求められる特性として、大きな引張強度が求められる一方、試料が安定に加圧されるには、ある程度の延性も求められる。本年度の実験によって、よく延びると言われるZr基金属ガラスでも、TiZrに比べるとまだ硬く、従来のガasketデザインのままでは使用できないということがわかった。今後はTiZrとハイブリッド化することにより、金属ガラスが直接大きな変形を受けることのないような、多重構造のガasketデザインを試験する予定である。