

中性子反射率計 SOFIA の紹介

山田悟史¹, 細島拓也², 日野正裕³, 藤原健⁴,
堀耕一郎¹, 根本文也¹, 佐藤節夫¹, 山形豊²
¹KEK, ²理研, ³京大, ⁴産総研

中性子反射率法は物質の界面で反射された中性子を計測し、その干渉を利用することによって数 nm～数百 nm スケールにおける深さ方向に対する散乱振幅密度の分布を観察する手法である。反射率法において最も重要な情報は、入射角と反射角の角度が等しい鏡面反射条件での反射率 R である。このとき、運動量遷移 q は反射面に対して垂直方向に向いているため、 R からは表面の積層方向の構造情報を抜き出す事ができる。また、パルス中性子を用いると飛行時間法による波長分別が可能となるため、これを利用した広い q 領域の同時測定が可能となる。反射率法としては X 線を用いた測定が広く用いられているが、中性子を用いることにより以下のような利点を得られる。

- 同位体置換(H/D 置換など)により観測したい箇所のラベリングが可能。
- 磁場によっても屈折率が変化するため、薄膜内部の磁気構造を観測可能。
- 中性子の高い透過率を利用し、深く埋もれた界面の構造を観察することが可能。
- 中性子飛行法を用いて、一度に広い q 空間を走査することが可能。

中性子反射率計 SOFIA は大強度陽子加速器施設 J-PARC、物質・生命科学実験施設 MLF の BL16 に設置された試料水平型中性子反射率計である。試料水平型反射率計とは試料を垂直に立てて設置するのではなく水平に寝かせて設置するタイプの反射率計で、試料を簡単に設置できると同時に、中性子を下方向(SOFIA の場合は 2.2 度と 5.7 度)に取り出すことによって傾けることができない液面に対してもビームを照射できるというメリットがある。また、SOFIA は J-PARC/MLF における世界最高強度のパルス中性子を利用することによって短時間での測定が可能で、遮蔽を考慮した設計によりバックグラウンドレベルを抑えることに成功している。

具体的な装置スペックは表に示す通りで、2 インチ-3 インチ程度の試料を用意すれば数時間以内、1 cm 角程度の小さな試料でも 5 時間程度の測定時間で測定は完了する（ただし、試料の一部に照射するような場合はこの倍以上の測定時間を要する）。また、低い q 領域に限定すれば数十秒～数分での測定も可能で、倍の波長域(0.2-1.76 nm)を使えるダブルフレームモードを利用することで q 領域を倍に広げることができる。この際、測定データは全て中性子カウントが実時間と一緒に保存されているため、後から構造変化に要する時間と統計を見ながら時分割の幅を自由に調整することができる。また、試料環境としては温調セルの他、固体/液体界面や気体/液体界面用のセル、ずり流動をかけたまま測定できるレオメーターが利用可能である。

当日のポスターでは、SOFIA の特徴について紹介する予定である。

中性子反射率計 SOFIA の装置スペック

波長	0.2~0.88 nm (single frame mode) 0.25~1.76 nm (double frame mode)
入射角	最大 6 度
S/N	$R > 10^{-7}$
試料環境	高温セル (室温~300°C、真空可) 低温セル (5□~80□、調湿可) 固液界面測定用密封セル Langmuir トラフ 時分割温度ジャンプ用加熱装置 時分割溶媒接触用密封セル ずり流動下測定用レオメーター
測定時間 (3 インチ)	$R > 10^{-4}$: 3 分~10 分 $R > 10^{-6}$: 20 分~1 時間 $R > 10^{-7}$: 40 分~2 時間