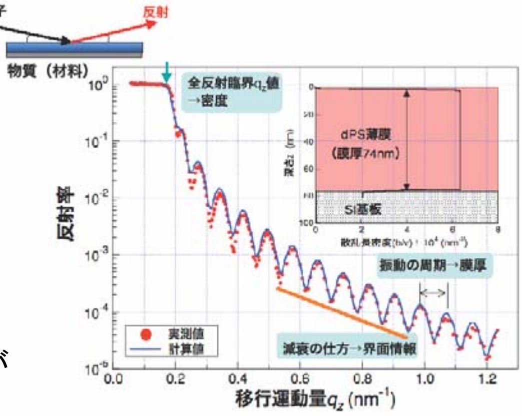
中性子反射率法

(技術)キーワード1:干渉　回折
(装置)キーワード2:　SUIREN　JRR-3
(知りたいこと)キーワード3:膜圧　薄膜　材料組織

1.概要

中性子は粒子の性質と同時に波の性質も持っています。そのため太陽光と同じように反射します。この中性子が反射する性質を利用して材料の中のナノメートル(nm、10 億分の 1 メートル)より小さな構造を見る手法が「中性子反射率法」です。特に、材料中の表面あるいは界面と呼ばれる非常に薄い部分やさまざまな用途のために作り出された薄膜の密度、膜厚、磁化、表面荒さなどの構造情報を調べるのに威力を発揮します。接着剤やペンキなど身近な生活の中にある「界面」の現象。中性子反射率法で得られた界面情報から、高性能化、小型化が進む材料設計の上での重要な知見を得ることができます。

2.原理



右の図は中性子反射率法の原理を説明したものです。膜のある物質に中性子を当て、同じ角度で反射する反射光の強度を測定します。膜表面からの反射と、基板との界面からの反射が干渉するため、反射率の振動が観察されます。 振動する反射率のデータを解析することにより，膜厚・膜の密度（散乱長密度）・表面界面の粗さを求めることが出来ます。 振動周期から膜厚がわかります。また表面の粗さに応じて入射光と同じ角度で反射する反射光の強度は減少します。反射率の減衰の仕方から表面の粗さの程度がわかります。更に全反射が起こる角度から材料の密度がわかります。図中、散乱長密度は物質の組成と密度で決まる量です。また、移行運動量は入射角度に比例する量です。

X線反射率法もありますが、X線は水素などの軽い原子や物質の磁化には反応しません． つまり、高分子の表面の分析はできません。 中性子は高分子膜や生体膜に対しても適用可能で これらの分析には欠かせない分析法です。また、 数十オングストロームという超極薄の膜で十分測定が可能です。

3.解説

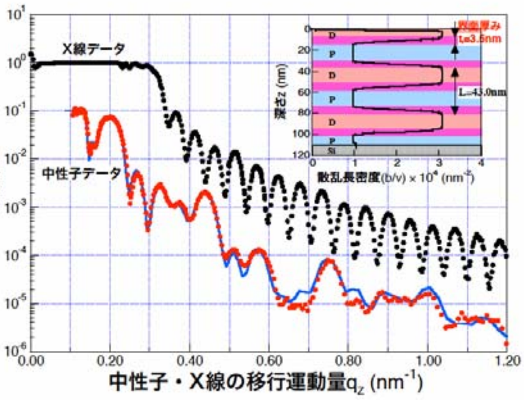
〇メリット

- 物質内部に深く埋もれた界面の構造を非破壊で調べることが可能。
- 物質の深さ方向の密度分布(組成分布)，磁化分布を調べることが可能。
- 高分子薄膜、固液界面、磁性薄膜など従来法ではできなかった多様な対象に適用可能。

〇デメリット

- 中性子反射率法を利用して測定ができる装置としては JRR の SUIREN、MINE、および J-PARC の装置(まもなく完成)に限られる。

4.産業応用例



中性子反射率法を使ってシリコン(Si)の上に作られた 2 種の高分子(図中 p,d で表示)からなる高分子多層膜の内部構造を観察した例を右図に示します。一見ややこしく見える中性子の反射率データをきちんと解析すると、次のことがわかります。約 110nm の厚みの薄膜中で異なる高分子層が規則正しく積層し、層間の厚みは約 43nm、層間の界面(図中濃いピンクで表示)の厚みは約 3.5nm であることなどです。図中、X 線によるグラフが規則正しい振動になっているのは、X 線では多層に関する情報は無いことを示しています。

5.今後開発が必要な周辺機器　技術

- 測定対象の周囲条件(温度など)を設定する装置、など

担当者氏名　茨城県技術士会　石田　正浩

詳しい解説はこちらへ…