

Kyoto University Research Reactor Institute
neutron optics

MINE2の最近の研究と今後

MINE (Multilayer Interferometer and reflectometer for NEutron)

京大原子炉

日野正裕

2009 年8月4日拡大IRT研究会(小角・反射率分科会)
山田ホール(東大物性研中性子科学施設)

MINE(多層膜干渉計・反射率計)

MINE1 0.81nm $\sim$ 10⁶n/cm²s@ガイド出口

MINE2 0.88nm(FWHM 2.7%)
15000cps/sample
(2.5-2.5mm@L=1.7m)

MINE2:反射率計

MINE1:MIEZE/NRSE

MINE2:干渉計

2009 年8月4日拡大IRT研究会(小角・反射率分科会) 山田ホール@東大物性研(東海)

TRIBE

TRiple branched BEnder for slow neutrons

MINE2
 $\lambda \sim 0.88\text{nm}$
(FWHM 2.7%)

MINE1
 $\lambda > 0.8\text{nm}$
(白色)
 $\sim 10^6\text{n/cm}^2\text{s}$

45mm
高さ:100mm
厚さ1mm

設計入射角2/57rad

幅20mmを10mmずつに分割

from C3-1-1

285mm
高さ:100mm 厚さ1mm

2009 年8月4日拡大IRT研究会(小角・反射率分科会) 山田ホール@東大物性研(東海)

2009 年8月4日拡大IRT研究会(小角・反射率分科会) 山田ホール@東大物性研(東海)

多層膜中性子干渉計/スピン干渉計(MINE2):

目的: 干渉計を用いて微弱な相互作用を検出する→量子力学の基礎を精密に実証

展開されている研究・開発

Aharonov-Casher(AC)効果の測定

重力の量子力学的効果の測定 (COW実験)

多層膜マッハツェンダー干渉計の開発

スピン干渉干渉イメージング

多層膜スピンスプリッターを用いた水素吸蔵金属中の水素量の精密測定

多層膜スピンスプリッターによるスピنعラー装置の開発 (ミリング法によりつくられた) サンプルを用いて量子コヒーレンシーの研究 etc

2009 年8月4日拡大IRT研究会(小角・反射率分科会) 山田ホール@東大物性研(東海)

多層膜中性子干渉計/スピン干渉計(MINE2):

冷中性子干渉計による基礎物理

多層膜を利用した大型冷中性子干渉計を用いて極めて微小な相互作用の検出を目指しています

Mach-Zehnder型干渉計

経路の分岐がより大きな干渉計で重力が波動関数に与える効果を精密に測定します (COW実験)

Aharonov-Casher effect

There is a discrepancy of 0.8% between theory and experiment using perfect silicon crystal interferometer.

$\Delta\phi_{AC} = \frac{4\pi\lambda A}{h^2} \Delta E$

$\Delta E = 2\lambda E / \lambda_{eff}$

$\Delta\phi_g = -2\pi m^2 \frac{g}{h^2} \lambda A \sin\theta$

幾何学的面積1m²で一般相対論項の測定精度に達する

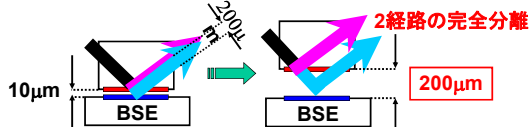
2009 年8月4日拡大IRT研究会(小角・反射率分科会) 山田ホール@東大物性研(東海)

Aharonov-Casher効果

多層膜冷中性子干渉計によるAC効果測定

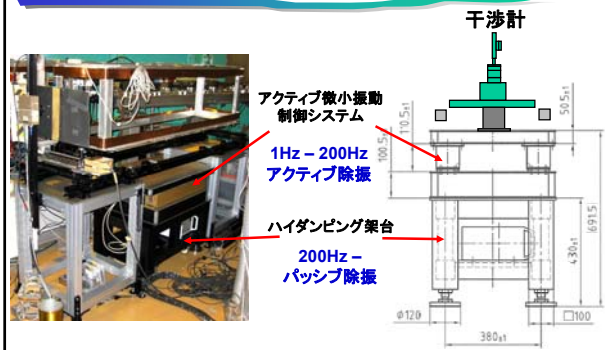
$$\Delta\phi_{AC} = \frac{2\mu_B E}{\hbar c^2}$$

- 長いLによって、Si干渉計の10倍程度の感度の測定が可能になる。
- 2経路の囲む領域に電極を挿入することで、AC効果の幾何学的効果を調べることができる。
- 2経路間に電極などの装置を挿入するためには...



KURRI neutron optics 2009年8月4日拡大IRT研究会(小角・反射率分科会) 山田ホール@東大物性研(東海) JST n

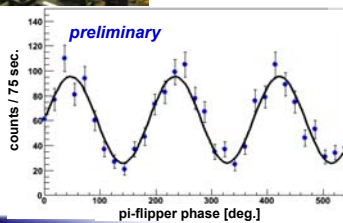
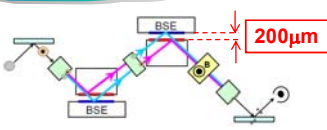
MINE2ビームラインへの除振台の設置



KURRI neutron optics 2009年8月4日拡大IRT研究会(小角・反射率分科会) 山田ホール@東大物性研(東海) JST n

200 μm エタロン干渉計の干渉縞

関義親@京大理

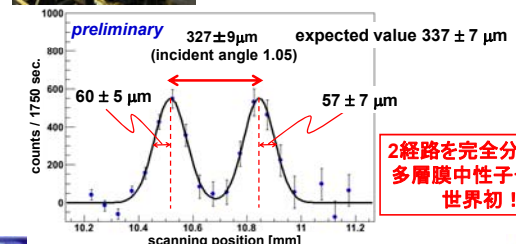
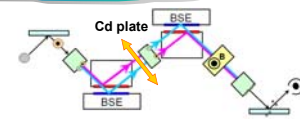


10 μm のときと同程度の
コントラスト 57% の
明瞭な干渉縞

KURRI neutron optics 2009年8月4日拡大IRT研究会(小角・反射率分科会) 山田ホール@東大物性研(東海) JST n

2経路分離の確認

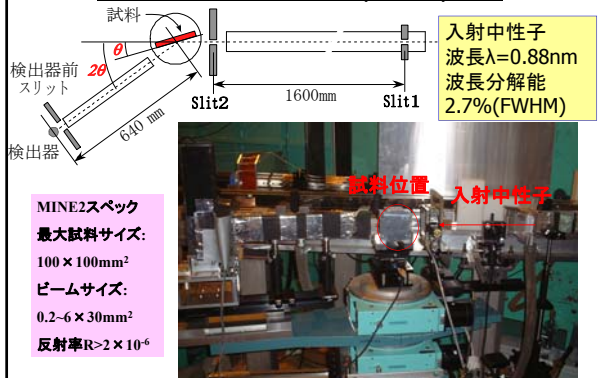
関義親@京大理



2経路を完全分離する
多層膜中性子干渉計
世界初!

KURRI neutron optics 2009年8月4日拡大IRT研究会(小角・反射率分科会) 山田ホール@東大物性研(東海) JST n

垂直型冷中性子反射率計(MINE2)概観:



MINE2スペック
最大試料サイズ:
100 × 100 mm²
ビームサイズ:
0.2 ~ 6 × 30 mm²
反射率 R > 2 × 10⁻⁶

入射中性子
波長 λ = 0.88 nm
波長分解能
2.7% (FWHM)

KURRI neutron optics 2009年8月4日拡大IRT研究会(小角・反射率分科会) 山田ホール@東大物性研(東海) JST n

垂直型冷中性子反射率計(MINE2):

目的: (固体、個液等) 表面・界面の構造評価
特長: Low Qにおいて力を発揮。コンパクト。

展開されている研究・開発

(超)高分子薄膜の表面・界面の(精密)構造解析
(相互拡散、混合物の凝集状態の解明等)
低誘電率薄膜の構造解析

高分子薄膜の構造解析

固体-固体間の界面粗度の測定
潤滑油薄膜の膜厚測定と構造解析

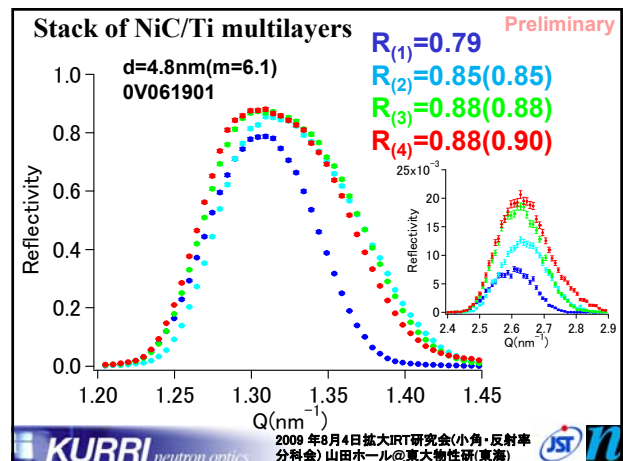
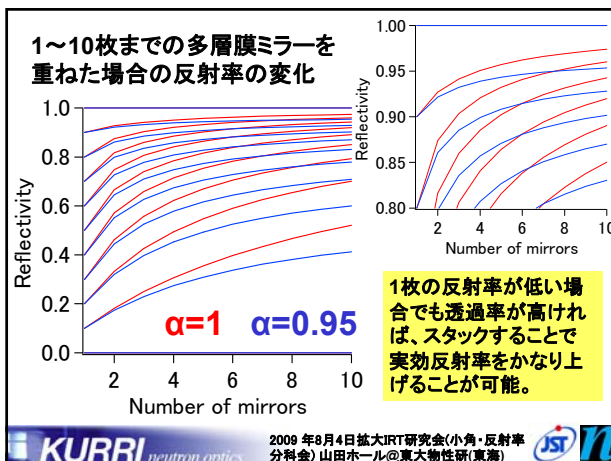
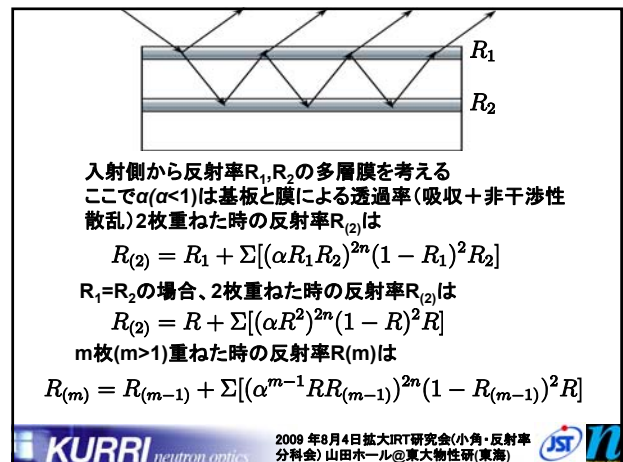
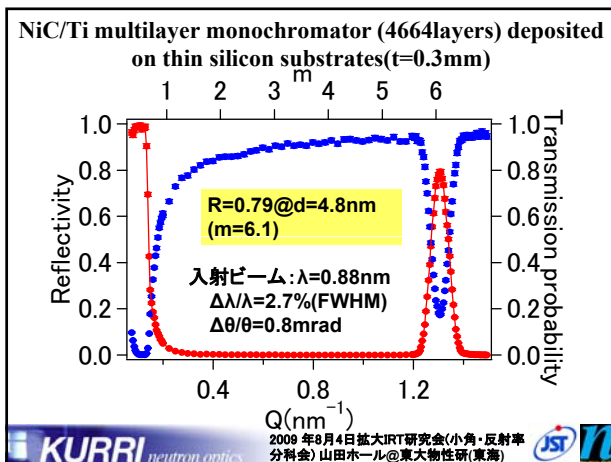
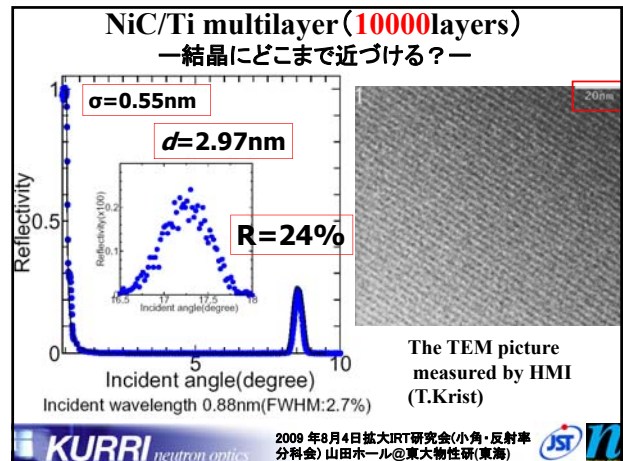
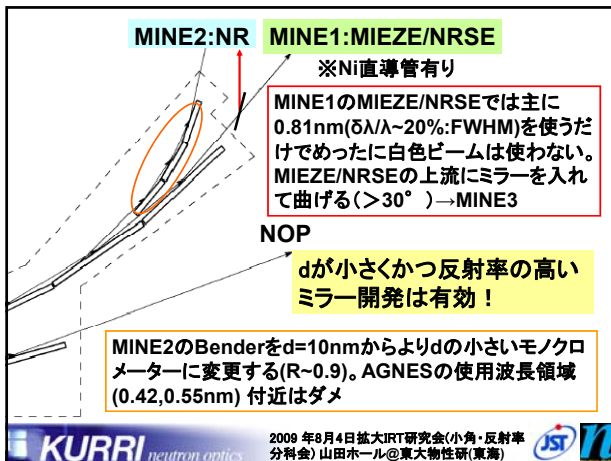
トライボロジー(摩擦)研究

平面・曲面多層膜ミラー評価
(原研・理研・韓国・中国に協力)

検出器・デバイス開発

GEM、UCN等検出器の評価

KURRI neutron optics 2009年8月4日拡大IRT研究会(小角・反射率分科会) 山田ホール@東大物性研(東海) JST n



まとめ
(装置が3-5年後はどうなっているかも念頭に)

- 0.3mm厚のSi基板上に $m>6$ ($d=4.8\text{nm}$)のモノクロメーター ($d=4.65\sim 4.95\text{nm}$) を製作し反射率0.79を達成。
→さらにスタックすることで実効反射率0.88が達成。
→膜応力の制御とスタック方法を工夫して、反射性能の向上と共集光化を目指す
→MINE3の可能性 (出来るだけ労力少なく、中性子利用のすそ野を広げる。新規パワーユーザー獲得)
- 2経路を完全分離可能なGap200 μm の多層膜中性子干渉計が達成。→J-PARC BL05と連携、AC効果の測定を進めつつさらなる高度化を目指す。

KURRI neutron optics 2009 年8月4日 協大IRT研究会(小角・反射率分科会) 山田ホール@東大物性研(東海) JST

まとめ: MINEの位置付け

京大炉で育った中性子光学技術

東大物性研の支援
改造3号炉で中性子干渉光学(MINE)ポートの誕生
NOP・原研の支援

NOP, MINE1, MINE2の3ビームラインに増加
MINE1, MINE2設置装置の高度化

JSTの支援 デバイス開発(反射率計評価)

MINEでの分光器開発 J-PARC VIN ROSE開発

MINE2でのAC, COW実験 J-PARC基礎物理実験装置

J-PARCへ如何に貢献できるかも考え、どれほど裾野を広げるべく新規開拓が出来たかが重要。MINEでは干渉計で培った技術と低線量の利点を活かし、新規分光法開発、新規パワーユーザー利用の強化・発展を目指す

KURRI neutron optics 2009 年8月4日 協大IRT研究会(小角・反射率分科会) 山田ホール@東大物性研(東海) JST

Kyoto University Research Reactor Institute
neutron optics

ご静聴ありがとうございます

ご協力いただいている方々

京大炉: 北口雅暁、Markus Bleuel、川端祐司
阪大理: 阿知波紀郎
京大工: 田崎誠司
大阪電通大: 舟橋春彦
京大理: 関義親
KEK: 清水裕彦、竹谷薫
理研: 大竹淑恵、広田克也
原子力機構: 林田洋寿、海老沢徹、丸山龍治、山崎大、
菅山和彦、奥隆之、鈴木純市、片桐政樹

KURRI neutron optics