

キログラムの実現に向けたシリコンの 格子定数均一性評価とその応用

課題番号:

2016S2-003

早稲田篤、藤本弘之 (AIST/NMIJ)、張小威 (IHEP-BSRF、KEK-PF)

I. はじめに

2018年の、国際単位系(SI)の基本単位、質量と電流、熱力学温度、物質量の再定義をめざし、現在各国でその準備が進められている。質量の単位「キログラム」の再定義では、アボガドロ国際プロジェクト(IAC)では、同位体濃縮²⁸Si単結晶を用いた、X線結晶密度(XRCD)法によるアボガドロ定数(N_A)の決定を行ってきた[1]。また、最近ドイツPTBで新たな同位体濃縮²⁸Si単結晶が作られ、産総研も協力しアボガドロ定数決定を行っている。

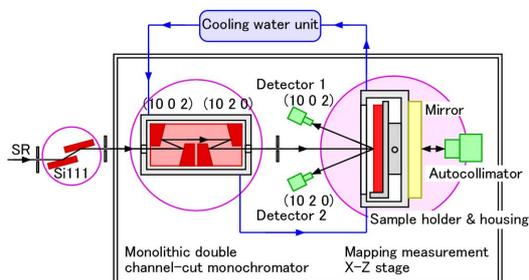
XRCD法では、Si単結晶のモル質量(M)と密度(ρ)、格子定数(d_{220})の精密測定によりアボガドロ定数を決定すると共に、用いる単結晶シリコンの結晶完全性、欠陥評価を行う。我々はKEK-PFにて放射光を用いた結晶格子面間隔の一律性評価を行った[2,3]。

$$N_A = \frac{M/\rho}{\sqrt{8}a_{220}^3}$$



II. 自己参照型X線格子コンパレータ

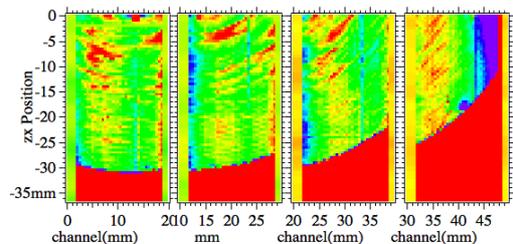
KEK-PFにて開発された自己参照型X線格子コンパレータは、短時間で結晶面内の格子面間隔分布の測定を行い、単結晶シリコンの結晶評価を行うことができる。単結晶シリコンの格子面間隔分布評価の測定手法は放射光の強度と指向性および波長選択性を生かし、結晶内の等価な指数面の同時反射を活用した自己参照型格子コンパレータ法で高速かつ高精度、高感度に、大面積の結晶に対してマッピング測定を行う。



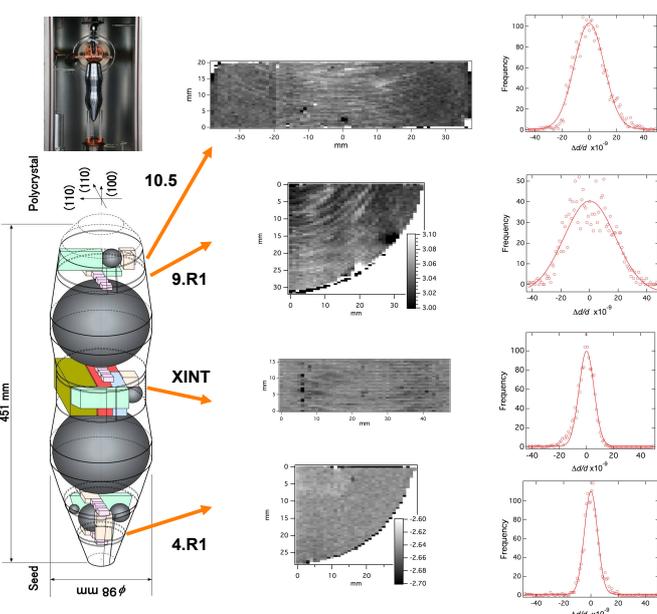
装置の概略図

本年は、測定の高速化に向け、一次元マルチディテクタを用いた予備実験を行った。

一次元ディテクタ0.5 mm × 40点 (20 mm)を用いスキャンした。図はAvo28結晶の9.1R1についてのスキャン結果を示す。これまでの測定結果と同様の渦巻き状の格子定数分布が測定されている。



MDCMの一律性から、有効な間隔は10 mmであった。これにより、測定時間は10倍程度速くなった。

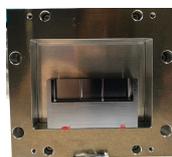


III. 結果

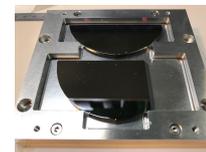
アボガドロ定数決定に用いた同位体濃縮²⁸Si単結晶(Avo28)の格子定数分布評価をまとめたものを図に示す[3]。Δd/d分布のヒストグラムからその標準偏差は4.1R1が4.8×10⁻⁹、XINTが5.5×10⁻⁹であった。シード側結晶である4.1R1は、不純物濃度の低い試料であり、格子定数分布も小さい均質な試料であった。

4.1R1とXINTの格子定数分布はアボガドロ定数決定に用いるに十分均質な結晶であった。一方、多結晶(テール)側試料、9.1R1と10.5 は比較的大きな格子定数分布となっていた。

また、今回、イタリアINRIMのXINT表面張力評価用結晶とPTBの新しい同位体濃縮²⁸Si単結晶の測定を行った。結果については現在解析中である。



INRIM結晶



PTB結晶(下)

IV. 参考文献

- [1] A. Waseda, H. Fujimoto, X. W. Zhang, N. Kuramoto and K. Fujii, *IEEE Trans. Instrum. Meas.*, **64**, 1692-1695 (2015).
- [2] Y. Azuma et al., *Metrologia*, **52**, 360-375 (2015).
- [3] A. Waseda, H. Fujimoto, X. W. Zhang, N. Kuramoto and K. Fujii, to be published in *IEEE Trans. Instrum. Meas.*