シリコン結晶中の低濃度炭素の測定（XI）
電子線照射による 1x10^{13}cm^{-3} までの赤外参照試料とブロックゲージの作製

Measurement of carbon concentration in silicon crystal(XI)Fabrication of reference sample and block gauge down to 10^{13}cm^{-3}

東京農工大 [1]，大阪府大 [2]，○井上直久 [1,2]，河村裕一 [2]

○Tokyo U. Agri. Technol.[1], Osaka Pref. U.[2] ○N. Inoue[1, 2], Y. Kawamura[2]

E-mail: inouen@riast.osakafu-u.ac.jp

目的と要旨　シリコン結晶中の炭素濃度の測定には赤外吸収法が用いられる。炭素は置換型位置に入り局所振動による吸収は結晶や濃度に依らず単一かつ歴史的に不変の比例係数[1]で濃度に比例する。但し炭素吸収ピークの重なる巨大なフォノン吸収を、炭素を含まない参照試料との吸収差により相殺する必要がある。しかし結晶には必ず微量の炭素が含まれるため、参照試料の濃度が分からないと全濃度が求められず、参照試料濃度は低いほど良い。我々は電子線照射により炭素を赤外吸収の無い格子間位置に追い出して「ほぼ無炭素の参照試料」[2]を作製する方法によりこの問題を解決した。またこの方法は参照試料中の濃度と照射前の「全濃度」とを求められる[3]。さらに線量を変えて濃度を制御できるため、広い濃度範囲の濃度の分かったブロックゲージを作れ。前回シリコンメーカなどと協力して作製していると報告した[4]が、今回は 1x10^{13}cm^{-3} までの参照試料と、高濃度側は標準試料の配布済の 2x10^{15}cm^{-3} までのブロックゲージの作製を報告する。

実験など　国内外の先進シリコンメーカの要望[4]に応えて、赤外吸収の研究者や赤外吸収装置のメーカや赤外吸収と SIMS･放射化分析の分析サービス会社とも協力して、出発結晶（厚さ 2mm 両面鏡面研磨）を加工準備し炭素濃度を正確に測定した。2005 年から行う高崎量子応用研究所で[2]、3 x 10^{14} から約 5x10^{17}cm^{-2} まで、厚さ 2mm に均一に電子が侵入する加速エネルギ 2MeV で試料温度を抑えて照射した。試料を変えて照射したり同じ試料に追加照射もした。照射前後でメーカなどの赤外専門家などと測定スペクトルを交換し測定・データ処理法を開示し測定を支援した。

結果　出発結晶の濃度は 13 乗台後半迄であった。置換型炭素の消去率は線量と共に増加し飽和傾向がある[5]。また消去率は同等試料で差が無く、濃度が低く線量が多いほど高くなり再現性や追加照射による加算性は良い。参照試料の濃度は出発結晶約 15 乗からは 1x10^{14}、13 乗台後半からは 1x10^{13}cm^{-3} が得られている。どの濃度でも最高約 9 割が消去でき、出発結晶の 1/10 程度までの低濃度の参照試料ができることを確認できた。また線量を減らすことにより複数組の揃ったブロックゲージを作ることができる。希望者への追加作製、低濃度化も容易である。

2005 年の開始当時から共同研究させていただいている世界を先導する各社･各位に深く感謝する。

[1] N. Inoue, T. Arai, T. Nozaki, K. Endo and K. Mizuma, Proc. ASTM Meeting STP 960, p.365 (ASTM, 1987). [2] 井上、白藤、大山、小野、杉山、後藤、応物学会」2008 春 29-X-15、Proc. JSPS Symp. p.217(2007). [3] 渡辺、井上、後藤、大渕、関、鵜野、藤山、河村、応物学会 2015 秋 13p-1E-1. [4]井上、河村、応物学会 2017 春 14p-F201-13. [5] N. Inoue, K. Watanabe, H. Seki, H. Uno, H. Oyama and K. Kawamura, ECS Trans. 64(11) p. 19(2014).