

( 続紙 1 )

京都大学	博士 (エネルギー科学)	氏名	金 學成
論文題目	<b>STUDY ON UNIFORM NEUTRON IRRADIATION FOR SILICON-INGOT IN NEUTRON TRANSMUTATION DOPING</b> (中性子変換ドーピングにおけるシリコンインゴットの中性子均一照射に関する研究 )		
(論文内容の要旨)			
<p>本論文は、原子炉を用いた n 型半導体の製造方法として利用されているシリコンドーピング法 (<math>^{30}\text{Si}</math> の <math>(n, \gamma)</math> 反応により <math>^{31}\text{P}</math> に変換する方法) において、シリコンインゴット内の均一な抵抗率分布を達成するための新たな中性子照射手法を開発することを目的とし、シリコンの抵抗率分布の評価指標や解析精度の検討、およびシリコンの照射実験により得られた結果に基づいた研究成果についてまとめたものであり、5 章からなっている。</p> <p>第 1 章は序論で、シリコンドーピング法の説明とこれまでの世界各国で行われてきたこの手法に関する研究について述べている。その上で近年照射するシリコンの直径が大きくなっていることに伴い、内部の抵抗率分布を均一にする中性子照射を行うことが難しくなっているという問題点について説明し、それに基づき本論文の目的と概要について述べている。</p> <p>第 2 章では、シリコンインゴットの照射における半径方向の抵抗率分布の均一性を評価するために考案した新しい指標について述べている。シリコンインゴットの照射において内部での中性子と <math>^{30}\text{Si}</math> との <math>(n, \gamma)</math> 反応率分布が抵抗率分布となり、その半径方向の反応率分布はシリコンの自己遮蔽効果のため表面で大きく中心部で低くなるが、半導体として利用するためにはできるだけ均一な分布となるように照射することが要求される。これまでこの均一性を表す指標として RRG(Radial Resistivity Gradient) という値が一般的に用いられていたが、RRG の基準値はシリコンの直径により異なり、近年のシリコン直径の大型化に伴う照射では照射特性を比較することが難しいという欠点があった。そこで新たに NRG(Normalized Reaction rate Gradient)、および SNRG(Surface NRG) という指標を導入しシリコンの照射特性を評価したところ、これらの値の基準値はシリコンの直径に依存しにくく、また内部で最も反応率変化が大きくなる領域の照射特性を適切に評価することができ、従来の RRG よりも優れていることが判った。</p> <p>第 3 章では、シリコンの照射実験を行いシリコンの中性子反応断面積の評価を行った結果について述べている。実験では <math>^{252}\text{Cf}</math> 中性子源とポリエチレン、黒鉛、ベリリウムなどの減速材を組み合わせた様々な中性子エネルギースペクトル場にシリコンインゴットを設置し、内部での金の反応率分布を測定してモンテカルロ計算コード MCNP による計算結果と比較することによりシリコンの反応断面積の精度について評価を行った。シリコンの熱中性子領域における反応断面積としては Free Gas モデルによるものとシリコンの単一結晶構造を考慮したモデルにより作成されたものがあり、従来の解析では、Free Gas モデルが広く用いられてきた。し</p>			

かし本実験の結果、Free Gas モデルによる解析では断面積ライブラリ間の差異はほとんど無いものの、柔らかい中性子スペクトル場における照射の際に、シリコン内部の金の反応率分布を最大 15%も過小評価してしまい解析に用いることは不適切であることが判った。一方、シリコンの結晶構造を考慮した新しい断面積を用いた場合約 1%の計算精度で反応率分布を評価することができることが明らかになった。

第 4 章においては、シリコンの均一照射を行うための新たな手法について述べている。実験は京都大学研究用原子炉の重水照射設備を用いて行った。実験ではシリコンインゴットを均一に照射するための回転台を用い、柔らかい中性子エネルギースペクトル場において照射を行い、シリコン内部での金の反応率分布を測定し MCNP による計算結果と比較することによりシリコンの反応率分布の評価を行った。まず、半径方向の内部の反応率分布を均一にするためにシリコンを覆う径方向中性子スクリーンの有無の影響を調べた結果、約 2mm 厚のステンレス製の局所スクリーンを導入することによりスクリーン部での NRG が最大 1/3 に低減し径方向反応率分布の均一性を改善できたが、軸方向の反応率分布の均一性が良好ではなく、さらに軸方向の表面に近い位置での半径方向の NRG の値が悪くなってしまうことが判った。そこで新たに軸方向反射体を設計して照射実験を行った。新しい軸方向反射体は従来の反射体と異なり厚さを半径方向で変化させたもので、この反射体の導入により上記の問題点を解消することができることが判った。解析の結果、この反射体によりシリコン内部から軸方向への中性子の漏洩量とそのスペクトルを適切に制御することが内部の反応率分布の均一化に影響していることが明らかになり、新たに設計した軸方向反射体は他の照射施設においても反応率分布の均一化のために有効であることが判った。

第 5 章は結論として、本研究を通じて得られたシリコンドーピング法での解析手法の評価、およびシリコンインゴット内の均一な抵抗率分布を達成するための新たな中性子照射手法についてまとめ、他の原子炉での利用に向けた課題について述べている。

(続紙 2)

(論文審査の結果の要旨)

本論文は、原子炉を用いた n 型半導体の製造方法として利用されているシリコンドーピング法 ( $^{30}\text{Si}$  の  $(n, \gamma)$  反応により  $^{31}\text{P}$  に変換する方法) において、シリコンインゴット内の均一な抵抗率分布を達成するための新たな中性子照射手法を開発することを目的とし、シリコンの抵抗率分布の評価指標や解析手法の検討、およびシリコンの照射実験により得られた研究成果について論じたものであり、得られた主な成果は次の通りである。

1. 照射の均一性を表す指標として従来より用いられていた **RRG(Radial Resistivity Gradient)** という値は、近年のシリコン直径の大型化に伴う照射では従来の照射特性との比較が難しいという欠点があった。そこで新たに **NRG(Normalized Reaction rate Gradient)**、および **SNRG(Surface NRG)** という指標を導入することにより、シリコン直径が異なった場合でも照射特性を適切に評価することができることを明らかにした。

2. 異なる中性子スペクトル場における照射実験によりシリコンの中性子反応断面積の評価を行い、従来の解析で広く用いられていた **Free Gas** モデルでは実験結果を大きく過小評価してしまうものの、シリコンの結晶構造を考慮した新しい断面積を用いた場合約 1% の計算精度で反応率分布を評価することができることを明らかにした。

3. 原子炉での照射実験を行い、均一照射を行うために設置した径方向中性子スクリーン、および新たに設計した軸方向反射体の効果についての検証と解析による評価を行い、これらの設置が均一のために有効であること明らかにした。

以上、本研究はシリコンドーピング法の解析手法の検証、および照射特性を向上させるための新たな照射手法の開発を行ったもので、将来のシリコンドーピング法の発展に大きく貢献し、ここで得られた知見は学術上、実用上、寄与するところが多い。

よって、本論文は博士 (エネルギー科学) の学位論文として価値あるものと認める。また、平成 23 年 7 月 29 日実施した論文内容とそれに関連した試問の結果合格と認めた。

論文内容の要旨及び審査の結果の要旨は、本学学術情報リポジトリに掲載し、公表とする。特許申請、雑誌掲載等の関係により、学位授与後即日公表することに支障がある場合は、以下に公表可能とする日付を記入すること。

要旨公開可能日： 年 月 日以降