

## 令和 4 年度 (2022) 共同利用研究・研究成果報告書

研究課題名	和文：半導体量子デバイスの放射線応答調査のための デバイス放射化と定量分析 英文：Device activation and quantitative analysis for investigation of charged particle response of semiconductor quantum devices																												
研究代表者	吉田 斉 (大阪大学大学院理学研究科)																												
参加研究者	東北大学ニュートリノ科学研究センター・教授 岸本康宏																												
研究成果概要	<p>半導体量子デバイス (半導体 QD) に法定外の中性子線源を照射することによって、デバイス内部に生成される放射能の種類、およびその量を評価することを目的として研究を実施した。</p> <p>半導体 QD の基板が GaAs であることに着目し、Ga,As の中性子捕獲反応とそれに続くベータ崩壊事象を利用して、半導体 QD の放射線応答を調査する法王を確立することとした。次の表に示すように、Ga, As はともに大きな熱中性子捕獲断面積を持ち、半減期が 10 時間を超えている。従って、基板中の中性子捕獲反応によって生ずる放射能が大きく、中性子照射後に応答測定に十分な時間を取ることができる。加えて、数日で減衰するため経時変化を追うことで、放射能による影響をはっきりと見ることができると期待できる。</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>核種</th> <th>存在比(%)</th> <th>断面積(barn)</th> <th>生成核</th> <th>半減期</th> <th>Q 値(MeV)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td><sup>69</sup>Ga</td> <td>60.2</td> <td>1.9</td> <td><sup>70</sup>Ga</td> <td>21.1 m</td> <td>1.66</td> </tr> <tr> <td><sup>71</sup>Ga</td> <td>39.8</td> <td>5.0</td> <td><sup>72</sup>Ga</td> <td>14.1 h</td> <td>3.99</td> </tr> <tr> <td><sup>75</sup>As</td> <td>100</td> <td>4.5</td> <td><sup>76</sup>As</td> <td>26.3 h</td> <td>2.97</td> </tr> </tbody> </table> <p>この基板の放射化では、岐阜県神岡の地下実験施設の中性子源を用い、また放射化後の放射能の測定では、地下に設置した極低バックグラウンド Ge 半導体検出器を用いた。さらに、今年度は、量子 QD ではなく、量子ポイントコンタクト (量子 PC) を用いた。その理由としては、量子 PC は冷却温度が高く短時間で実験を開始できるからである神岡地下においてポリエチレン減速材とグラファイト中性子反射材で囲んだ <sup>252</sup>Cf 中性子源 (1.1 MBq) の近傍で、GaAs 基板の QPC デバイス (量子ポイントコンタクトデバイス) の放射化を実施した (図 1 の写真)。それに引き続き、低バックグラウンド Ge 半導体検出器による測定を実施した。この結果、予想された <sup>72</sup>Ga, <sup>76</sup>As に加え、<sup>198</sup>Au(411 keV), <sup>187</sup>W(773 keV)などのピークが観測された。タングステン(W)は GaAs 基板には存在せず、周辺のパッケージ部にのみ存在するため、この放射能は量子デバイスの放射線</p>					核種	存在比(%)	断面積(barn)	生成核	半減期	Q 値(MeV)	<sup>69</sup> Ga	60.2	1.9	<sup>70</sup> Ga	21.1 m	1.66	<sup>71</sup> Ga	39.8	5.0	<sup>72</sup> Ga	14.1 h	3.99	<sup>75</sup> As	100	4.5	<sup>76</sup> As	26.3 h	2.97
核種	存在比(%)	断面積(barn)	生成核	半減期	Q 値(MeV)																								
<sup>69</sup> Ga	60.2	1.9	<sup>70</sup> Ga	21.1 m	1.66																								
<sup>71</sup> Ga	39.8	5.0	<sup>72</sup> Ga	14.1 h	3.99																								
<sup>75</sup> As	100	4.5	<sup>76</sup> As	26.3 h	2.97																								

応答の研究には利用できない。その一方で、金(Au)は基板上で電極として使用されており（全体の約1%）、基板周辺部でもメッキとして用いられているため、量子デバイスへの放射線応答を調べる上で、この放射能が利用できることが分かった。 $^{197}\text{Au}$  は自然存在比 100%で、反応断面積は 98.65 barn と非常に大きく、半減期も 64.66 h と長いため、非常に有効に用いることができることが可能であることが分かった。

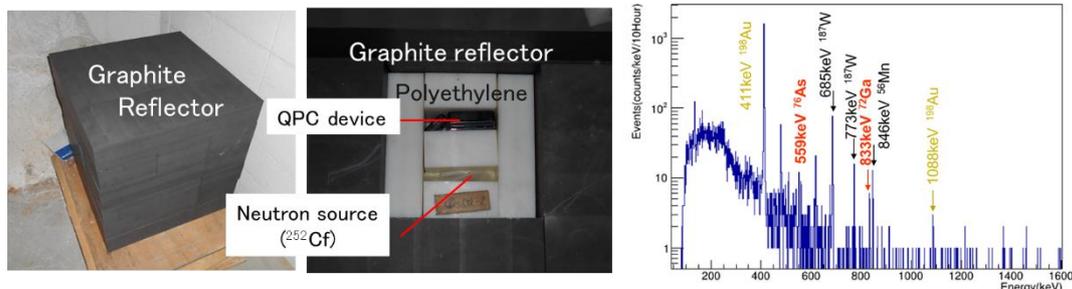


図 1：半導体量子デバイスの中性子線源による放射化セットアップ（写真）と低バックグラウンド Ge 検出器で観測された放射化デバイスから発生する  $\gamma$  線のエネルギースペクトル（右図）

観測されたスペクトルから、Ge 検出器の検出効率を考慮し、7 日間の照射で放射化放射化した QPC デバイスの基板の放射能は以下の表の通りであることが分かった。

生成核種	放射能 (Bq)	半減期
$^{72}\text{Ga}$	$(1.3 \pm 0.3) \times 10^{-2}$	14.1 h
$^{76}\text{As}$	$(2.6 \pm 0.5) \times 10^{-2}$	26.24 h
$^{198}\text{Au}$	$1.64 \pm 0.06$	64.66 h

この結果から、今後の半導体 QD の放射線応答を調査する際に必要な、放射能の定量に関する知見を得ることができた。本研究結果をもとに、中性子線源の強度や半導体 QD の大きさが決まると、そのデバイスに生成される放射能の種類と強さが予測できるようになった。

整理番号 B20