

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2014-145705

(P2014-145705A)

(43) 公開日 平成26年8月14日 (2014.8.14)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
G O 1 T 1/24 (2006.01)	G O 1 T 1/24	2 G 0 8 8
H O 1 L 29/868 (2006.01)	H O 1 L 29/91	2 G 1 8 8
H O 1 L 29/861 (2006.01)	H O 1 L 29/91	J
H O 1 L 21/324 (2006.01)	H O 1 L 21/324	X

審査請求 未請求 請求項の数 7 O L (全 7 頁)

(21) 出願番号 特願2013-15287 (P2013-15287)
 (22) 出願日 平成25年1月30日 (2013.1.30)

特許法第30条第2項適用申請有り

(71) 出願人 505374783
 独立行政法人日本原子力研究開発機構
 茨城県那珂郡東海村村松4番地49
 (71) 出願人 000173809
 一般財団法人電力中央研究所
 東京都千代田区大手町1丁目6番1号
 (74) 代理人 100074631
 弁理士 高田 幸彦
 (72) 発明者 岩本 直也
 群馬県高崎市綿貫町1233番地
 独立行政法人日本原
 子力研究開発機構 高崎量子応用研究所内

最終頁に続く

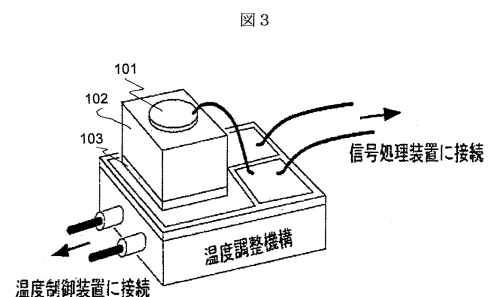
(54) 【発明の名称】 炭化ケイ素放射線検出器の特性回復方法及びその運転方法

(57) 【要約】

【課題】 放射線に曝されて、検出信号強度が落ちた炭化ケイ素放射線検出器の特性を回復させる簡単な方法とそれを利用した放射線検出器の運転方法を提供する。

【解決手段】 炭化ケイ素放射線検出器の検出部を構成する炭化ケイ素結晶を、200℃から350℃の範囲にある一定温度で30分以上加熱することにより、放射線に曝されて放射線検出部の炭化ケイ素結晶に生じた点欠陥を修復させ、炭化ケイ素放射線検出器の特性を回復させる。炭化ケイ素結晶は、4H-SiCである。

【選択図】 図3



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

放射線に曝されることによって、放射線検出部の炭化ケイ素結晶に生じた点欠陥を、該炭化ケイ素結晶を所定の温度で所定の時間加熱することにより修復させる、炭化ケイ素放射線検出器の特性を回復させる方法であって、

前記所定の温度が 200℃から 350℃の範囲にある温度であり、前記所定の時間が 30 分以上であることを特徴とする炭化ケイ素放射線検出器の特性回復方法。

【請求項 2】

請求項 1 に記載された方法において、前記炭化ケイ素結晶が 4H-SiC 結晶であることを特徴とする炭化ケイ素放射線検出器の特性回復方法。

10

【請求項 3】

請求項 1 または 2 に記載の方法において、前記所定の温度が 300℃であることを特徴とする炭化ケイ素放射線検出器の特性回復方法。

【請求項 4】

請求項 1 乃至 4 のいずれかに記載された方法において、前記所定の温度を、前記炭化ケイ素放射線検出器と直接接触するようにして一体に形成され、通電電流の大きさに応じて温度制御が可能なヒータを備えた温度調整機構によって得ることを特徴とする炭化ケイ素放射線検出器の特性回復方法。

【請求項 5】

放射線検出器が放射線に曝されることによって電荷収集効率が初期値の 80% 以下、20% 以上になった時点で、前記放射線検出器を 200 から 350℃の範囲の温度で 30 分以上加熱して電荷収集効率を回復させることを繰り返すことで、前記放射線検出器を安定的に継続運転することを特徴とする炭化ケイ素放射線検出器の運転方法。

20

【請求項 6】

請求項 5 に記載の方法において、前記加熱を行う時間が 30 分以上 120 分以下であることを特徴とする炭化ケイ素放射線検出器の運転方法。

【請求項 7】

請求項 5 または 6 に記載の方法において、前記炭化ケイ素結晶が 4H-SiC であることを特徴とする炭化ケイ素放射線検出器の運転方法。

【発明の詳細な説明】

30

【技術分野】

【0001】

本発明は、長期間の使用によって電荷収集効率（検出信号強度）が悪化した、炭化ケイ素（SiC）放射線検出器の特性を回復させる方法及び炭化ケイ素放射線検出器を継続的に安定動作させるための運転方法に関する。

【背景技術】

【0002】

一般に炭化ケイ素に限らず半導体を材料とする放射線検出器は、放射線測定に使用される間に大量の放射線に曝されるため、はじき出し損傷効果により半導体結晶中に格子欠陥が形成される。格子欠陥はキャリア（電子及び正孔）の捕獲中心や再結合中心として働く。炭化ケイ素放射線検出器等の半導体放射線検出器は、放射線によって検出器内に誘起されるキャリアを電気信号として外部に取り出すことで動作するため、格子欠陥密度が増大すると、得られる信号の強度は小さくなる。つまり、放射線検出特性が劣化する。また、放射線検出器に限らず、半導体装置内に生じた格子欠陥は、所定の温度で所定時間加熱を行うことで改善されることが知られている（特許文献 1～3、非特許文献 1～3 を参照）。

40

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

【特許文献 1】 特開平 6-244445 号公報

50

【特許文献2】特開2000-272994号公報

【特許文献3】特開2006-295061号公報

【非特許文献】

【0004】

【非特許文献1】Francesco Moscatelli, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A 583(2007) 157-161

【非特許文献2】A. M. Ivanov et al., ISSN 1063-7826, Semiconductors, 2007, Vol.4 1, No.8, pp979-983

【非特許文献3】Naoya Iwamoto et al. IEEE Transactions on Nuclear Science, Vol.5 8, No.6, December 2011

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

上述の特許文献や非特許文献には、放射線によって各種半導体中に形成された欠陥が、熱処理によって修復されることが開示されている。しかし、これらの文献においてもそれぞれの熱処理温度が異なっているように、ある組成の半導体の欠陥修復のための熱処理温度と、異なる組成の半導体の欠陥修復のための熱処理温度とは全く異なる。しかも、特定の半導体中では、熱処理によってさらに欠陥密度が増加し、半導体素子の特性劣化を招く場合がある。（たとえば、シリコンダイオードにおけるReverse Annealing 効果：A. Holmes-Siedle and L. Adams, Handbook of radiation effects, 2nd edition, p.85, Oxford press）したがって、特定の半導体の欠陥が、実際に熱処理によって回復するのか、熱処理に適切な温度は何度なのか、ということは、実際に調べるまで全く分からないと言っても過言ではない。

【0006】

上述したように、半導体中に存在する格子欠陥は、一般に、加熱処理することによって修復されることが知られている。しかし、半導体の組成によって修復挙動が異なることも知られており、これまで知られている方法では炭化ケイ素放射線検出器の特性を回復させることができない。

【0007】

したがって、本発明の主たる目的は、放射線に曝されることによって、放射線検出部の炭化ケイ素結晶に生じた点欠陥の影響で、検出信号強度が落ちた炭化ケイ素放射線検出器の特性を回復させる簡単な方法を提供することにある。また、本発明の他の目的は、上述の特性回復方法を利用して炭化ケイ素放射線検出器を継続的に安定動作させる方法を提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【0008】

本発明の一つの観点に係る炭化ケイ素放射線検出器の特性回復方法は、炭化ケイ素放射線検出器の検出部を構成する炭化ケイ素結晶を、所定の温度で所定時間以上加熱することにより、放射線に曝されて放射線検出部の炭化ケイ素結晶に生じた点欠陥を修復させ、炭化ケイ素放射線検出器の特性を回復させる。このときの所定の温度は200℃から350℃の範囲にある一定温度であり、所定の時間は30分以上である。

【0009】

好ましくは、炭化ケイ素結晶は4H-SiC結晶であり、さらに好ましくは、所定の温度は300℃である。

【0010】

なお、上述の方法において、所定の温度を、前記炭化ケイ素放射線検出器と直接接触するようにして一体に形成され、通電電流の大きさに応じて温度制御が可能なヒータを備えた温度調整機構によって得るようにすれば、炭化ケイ素放射線検出器を移動させることなくその場でその特性を回復させることができる。

【0011】

10

20

30

40

50

本発明の別の観点に係る炭化ケイ素放射線検出器の運転方法は、放射線検出器が放射線に曝されることによって電荷収集効率が初期値の80%以下、20%以上になった時点で、前記放射線検出器を200から350℃の範囲の温度で30分以上加熱して電荷収集効率を回復させることを繰り返すことで、前記放射線検出器を安定的に連続運転する方法である。

【発明の効果】

【0012】

本発明によれば、放射線測定に使用したことで、SiC半導体結晶中に形成された格子欠陥（点欠陥）を、炭化ケイ素放射線検出器の構成材料に影響を与えない適切な温度で修復でき、炭化ケイ素放射線検出器を数度にわたって再利用すること、すなわち炭化ケイ素放射線検出器の長寿命化を図ることができる。

10

【図面の簡単な説明】

【0013】

【図1】（a）、（b）および（c）は、本発明の対象である炭化ケイ素放射線検出器の典型例を示す図である。

【図2（a）】炭化ケイ素放射線検出器の熱処理温度と電荷収集効率との関係を示すグラフである。

【図2（b）】炭化ケイ素放射線検出器の熱処理温度と電荷収集効率との関係を示すグラフである。

【図3】本発明の方法を実施するための、炭化ケイ素放射線検出器の加熱装置の一例を示す概略構成図である。

20

【発明を実施するための形態】

【0014】

初めに図1を参照する。図1は本発明の対象であるダイオード型の炭化ケイ素放射線検出器の典型例の構成を示し、（a）は、その外観斜視図である。ここで符号11と13は電極で、12は炭化ケイ素結晶である。（b）および（c）は、共に（a）に示された炭化ケイ素放射線検出器の断面図であるが、（b）はpnダイオードを、（c）はショットキーダイオードの例を示している。なお、（b）に示されたpnダイオードのp型とn型の部分は逆の構造でも良い。

【0015】

放射線検出部である炭化ケイ素結晶12は、放射線を受けて電子-正孔対を発生し、これらが電極11、13間にかけてられた逆バイアスによって集められ、放射線（例えば単一のアルファ粒子）のエネルギーが、電荷収集量（パルス電流の時間積分値）の大きさとして測定される。しかし、放射線に曝された炭化ケイ素結晶には、長い間に大量の格子欠陥が発生するため、電荷収集効率（検出信号強度）が低下し、放射線検出器としての感度が劣化するようになる。

30

【0016】

放射線に曝されると、原子が大きなエネルギーを得て結晶格子点位置からはじき出されて格子間原子なり、その一部は一对の空孔と格子間原子の組を作る。本発明者らは、後述するように炭化ケイ素結晶（4H-SiC）を200℃から350℃の範囲の温度で30分以上加熱することで、これらの点欠陥が格子振動によって移動修復されることを実験によって見出した。

40

【0017】

図2に、5.5 MeVのエネルギーを持つアルファ粒子に対して行った実験によって得られた、炭化ケイ素放射線検出器の熱処理温度と電荷収集効率との関係をグラフと数値で示す。このグラフでは横軸に熱処理温度を、縦軸に電荷収集効率すなわち検出信号強度を示している。このときの熱処理時間は30分である。なお、30分以上の熱処理でも大きな変化はみられなかった。

【0018】

上述の加熱は、加熱温度を1℃毎に設定可能なアルバック理工社製の赤外線ランプ加熱処理装置を用いて行った。実験では、例えば、室温から100℃まで昇温させて熱処理し

50

た後、一度室温まで下げて電荷収集効率を測定した。次に、室温から150℃まで昇温させて熱処理した後、再度室温まで下げて電荷収集効率を測定した。このような方法で、50℃から400℃までの熱処理の影響について測定した。

【0019】

図2の(a)のグラフから明らかなように、このグラフは200℃と350℃に屈曲点を有し、この範囲では電荷収集効率が初期値(100%)のほぼ90%以上に改善された。最適熱処理温度は300℃であり、このときの電荷収集効率は92.43%まで改善された。

【0020】

以上の実験データは、放射線であるアルファ粒子に長期間曝された炭化ケイ素結晶を、別の場所にある電気炉まで持って行って行った。しかし、実際には、炭化ケイ素放射線検出器と直接接触するようにして一体に形成され、通電電流の大きさに応じて温度制御が可能なヒータを備えた温度調整機構を用いることで、放射線検出器をその設置場所から取り外すことなく加熱処理することが可能である。そのような装置の一例を図3に示す。

【0021】

また、4H-SiC炭化ケイ素結晶からなる放射線検出器の実使用運転において、炭化ケイ素放射線検出器が放射線に曝されることによって電荷収集効率がある程度低下した時点で、炭化ケイ素放射線検出器を200から350℃の範囲の温度で30分以上加熱して電荷収集効率を回復させることを繰り返すことで、炭化ケイ素放射線検出器を継続的に安定動作させることが可能となる。このとき、電荷収集効率が放射線曝露前の初期値の約20%以下になると、炭化ケイ素放射線検出器の動作が困難になるため、放射線検出器の実使用運転状態ならびに図2に示す実験データから、炭化ケイ素放射線検出器の電荷収集効率が放射線曝露前の初期値の80%以下、20%以上になった段階で、炭化ケイ素放射線検出器を200から350℃の範囲の温度で30分以上加熱することが好ましい。また、炭化ケイ素放射線検出器の運転休止時間を短縮する観点から、加熱時間は120分以下とすることが好ましい。

【0022】

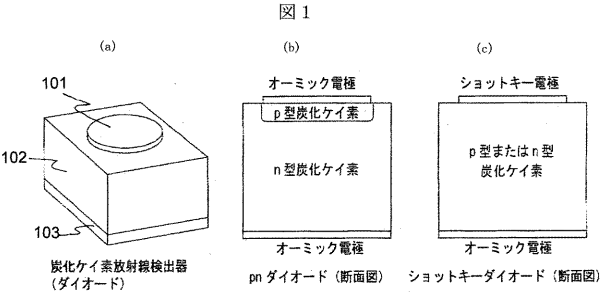
図3では、従来装置である温度制御装置や信号処理装置の詳細を示していない。実際には、信号処理装置において、電荷収集効率が初期値の80%以下(80%、70%など適宜しきい値を定める)になった時点で、温度制御装置に信号を送り、前述の手順に従って熱処理を開始するようにする。そして、温度を室温から昇温して行き、例えばSiC結晶の温度が300℃になった時点で、例えば30分間その温度を維持し、その後タイマーからの信号で温度を室温まで降下させて、再度放射線検出器としての使用を開始させる。

【符号の説明】

【0023】

- 1 1 … 電極
- 1 2 … 炭化ケイ素結晶
- 1 3 … 電極

【図 1】

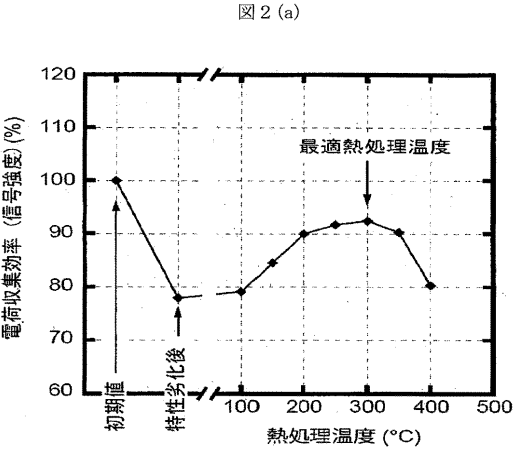


【図 2 (b)】

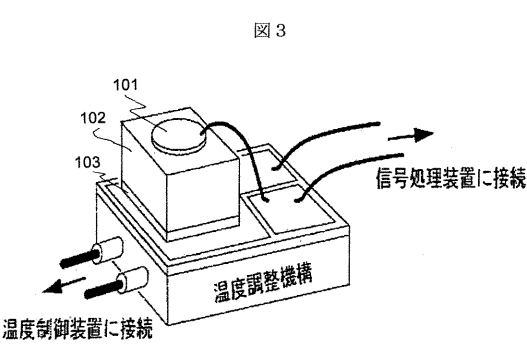
図 2 (b)

	熱処理温度 (°C)	電荷収集効率 (%)
劣化前	-100	99.99
劣化後	0	77.93
	100	79.11
	150	84.54
	200	89.99
	250	91.70
	300	92.43
	350	90.30
	400	80.30

【図 2 (a)】



【図 3】



フロントページの続き

- (72)発明者 大島 武
群馬県高崎市綿貫町1 2 3 3 番地
機構 高崎量子応用研究所内
独立行政法人日本原子力研究開発
- (72)発明者 土田 秀一
神奈川県横須賀市長坂2-6-1
料科学研究所内
一般財団法人電力中央研究所 材
- (72)発明者 星乃 紀博
神奈川県横須賀市長坂2-6-1
料科学研究所内
一般財団法人電力中央研究所 材
- Fターム(参考) 2G088 GG21 JJ37
2G188 BB06 CC28 CC29 CC36 CC37 DD13 DD39 DD41 EE01 EE25
FF19 FF28