

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第6690985号
(P6690985)

(45) 発行日 令和2年4月28日 (2020.4.28)

(24) 登録日 令和2年4月13日 (2020.4.13)

(51) Int. Cl.

F I

HO 1 L 29/78 (2006.01)
 HO 1 L 21/28 (2006.01)
 HO 1 L 29/12 (2006.01)
 HO 1 L 21/336 (2006.01)

HO 1 L 29/78 6 5 2 L
 HO 1 L 21/28 3 0 1 B
 HO 1 L 21/28 3 0 1 S
 HO 1 L 29/78 6 5 2 T
 HO 1 L 29/78 6 5 2 M

請求項の数 5 (全 14 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願2016-88311 (P2016-88311)
 (22) 出願日 平成28年4月26日 (2016.4.26)
 (65) 公開番号 特開2017-152667 (P2017-152667A)
 (43) 公開日 平成29年8月31日 (2017.8.31)
 審査請求日 平成31年3月28日 (2019.3.28)
 (31) 優先権主張番号 特願2016-32693 (P2016-32693)
 (32) 優先日 平成28年2月24日 (2016.2.24)
 (33) 優先権主張国・地域又は機関
 日本国 (JP)

(73) 特許権者 000001199
 株式会社神戸製鋼所
 兵庫県神戸市中央区脇浜海岸通二丁目2番
 4号
 (74) 代理人 100101454
 弁理士 山田 卓二
 (74) 代理人 100081422
 弁理士 田中 光雄
 (74) 代理人 100112911
 弁理士 中野 晴夫
 (72) 発明者 後藤 裕史
 兵庫県神戸市中央区脇浜海岸通二丁目2番
 4号 株式会社神戸製鋼所内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 オーミック電極

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

S i C 半導体装置に用いるオーミック電極であって、
 S i C 半導体層の上に形成され、ニッケルおよびニッケルシリサイドからなるグループ
 から選択される材料からなるオーミックコンタクト層と、
 該オーミックコンタクト層の上に形成され、ニッケルの拡散を防止するバリア層と、
 該バリア層の上に形成され、亜鉛、ニッケル、チタン、マンガンのうち少なくとも1種
 以上を含む銅合金からなる電極層と、を含み、
 上記電極層に含まれる亜鉛の量は、0.1 a t % 以上、3 a t % 以下、ニッケルの量は
 0.1 a t % 以上、2 a t % 以下、チタンの量は、0.1 a t % 以上、0.5 a t % 以
 下、マンガンの量は、0 a t % より多く、1 a t % 以下であることを特徴とするオーミ
 ック電極。

【請求項 2】

上記バリア層は、銅に対して非固溶の元素または銅と化合物を形成する元素で構成され
 ることを特徴とする請求項 1 に記載のオーミック電極。

【請求項 3】

上記バリア層は、モリブデン、タンタル、タングステン、ニオブ、チタンおよびこれら
 の窒化物からなるグループから選択される材料からなることを特徴とする請求項 1 または
 2 に記載のオーミック電極。

【請求項 4】

上記バリア層の膜厚は、10 nm以上、100 nm以下であることを特徴とする請求項1～3のいずれかに記載のオーミック電極。

【請求項5】

請求項1～4のいずれかに記載のオーミック電極を含むことを特徴とするSiC半導体装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、SiC半導体装置に用いるオーミック電極に関する。

【背景技術】

10

【0002】

SiC（シリコンカーバイド）はワイドバンドギャップ半導体材料であり、絶縁破壊強度も高い。このため、Si-IGBT（絶縁ゲートバイポーラトランジスタ）に続く次世代のパワー半導体装置として、SiCを用いたMOSFET（MOS型電界効果トランジスタ）等が開発されている。SiC-MOSFETのオーミック電極（ソース/ドレイン電極）は、SiC基板とオーミックコンタクトを取るためのオーミックコンタクト層と、オーミックコンタクト層の上の電気伝導性の高い電極層からなる。オーミックコンタクト層には、例えばSiC基板上に設けたNiを800 で熱処理して形成したニッケルシリサイドが用いられる。また、電極層には、電気伝導性の高いAlやAl-Si等のAl系材料が用いられる。

20

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0003】

Si-IGBTに比較してSiC-MOSFETでは、オーミック電極を流れる電流が大きくなるため、Al系の材料では耐熱性や耐久性の点で問題があった。特に、ボンディングワイヤとの接続部分は電流が集中するため、局所的に600 以上まで加熱される可能性がある。また、SiC-MOSFETでは動作時に比較的高温になるため、SiC基板とオーミック電極との間の熱膨張係数の違いによりオーミック電極に剪断応力がかかり、Al系材料では割れや剥離が発生するという問題もあった。

【0004】

30

そこで、本発明は、SiC基板を用いたパワー半導体装置に使用される、良好な電気伝導性を有するとともに、耐熱性、耐久性に優れ、かつ機械的強度の高いオーミック電極の提供を目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0005】

発明者らは鋭意検討の結果、電極層の材料にCu-Zn、Cu-Ni、Cu-Ti、Cu-Ca、Cu-Mn合金を用いるとともに、バリア層を形成してオーミックコンタクト材料の拡散を防止することにより、良好なオーミック電極が得られることを見出し、本発明を完成した。

【0006】

40

即ち、本発明は、SiC半導体装置に用いるオーミック電極であって、SiC半導体層の上に形成され、ニッケルおよびニッケルシリサイドからなるグループから選択される材料からなるオーミックコンタクト層と、オーミックコンタクト層の上に形成され、ニッケルの拡散を防止するバリア層と、バリア層の上に形成され、亜鉛、ニッケル、チタン、マンガ、カルシウムのなかから少なくとも1種以上を含む銅合金からなる電極層と、を含むことを特徴とするオーミック電極である。

【0007】

また、本発明は、このようなオーミック電極を含むSiC半導体装置でもある。

【発明の効果】

【0008】

50

本発明によれば、良好な電気伝導性を有するとともに、耐熱性、耐久性に優れ、かつ機械的強度の高いSiC半導体装置用のオーミック電極を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【0009】

【図1】本発明の実施の形態にかかるSiC-MOSFETの断面図である。

【図2】バリア層の上に形成したCu電極層の熱処理前後の電気抵抗率を示す。

【図3】熱処理後のCu電極層の表面SEM写真を示す。

【図4】熱処理後のCu合金電極層の表面SEM写真を示す。

【図5】ニッケルシリサイド上に作製したCu電極層の熱処理後の表面SEM写真を示す。

。

【図6】熱処理後のAl系電極層の表面SEM写真である。

【図7】No. B-9 (Cu/Mo/NiSi)を、600 で5分間の熱処理した後の、表面SEM写真である。

【図8】No. B-11 (Cu-Zn/Mo/NiSi)を、600 で5分間の熱処理した後の、表面SEM写真である。

【発明を実施するための形態】

【0010】

図1は、全体が100で表される、本発明の実施に形態にかかるSiC-MOSFETの断面図である。SiC-MOSFET 100は、n型のSiC基板1を含む。SiC基板1の上には、n⁺SiCからなるエピタキシャル層（ドリフト層）2が設けられている。エピタキシャル層2の上には、例えば酸化シリコンからなる絶縁膜5が設けられ、その上に、例えば多結晶シリコンからなるゲート電極6が設けられている。ここでは、ゲート電極6の周囲も絶縁膜5で覆われている。

【0011】

エピタキシャル層2には、ゲート電極6の両側にp型領域3が設けられ、さらにp型領域3の中にはn型領域4が設けられている。p型領域3およびn型領域4は、例えばイオン注入法や熱拡散法を用いて、エピタキシャル層2に選択的に不純物を導入して形成される。

【0012】

n型領域4の上には、オーミックコンタクト層11が設けられている。オーミックコンタクト層11は、例えばニッケルシリサイドからなり、膜厚は例えば100nmである。

【0013】

オーミックコンタクト層11は、例えばSiCからなるn型領域4の上に、スパッタ法を用いてNi膜を形成した後に、熱処理を行ってSiとNiとを反応させて形成する。

【0014】

オーミックコンタクト層11の作製に用いられるスパッタ条件およびアニール条件の一例を以下に示す。

【0015】

<スパッタ条件>

スパッタガス：アルゴン

ガス圧： 2mTorr

パワー： RF400W

【0016】

<アニール条件>

温度： 800

雰囲気： 窒素

【0017】

なお、上記アニール条件でSiC中のSiとNiが反応してニッケルシリサイドが形成されることを確かめるために、次のような実験を行った。まず、Si基板上に、膜厚100nmの熱酸化膜（シリコン酸化膜）を形成し、その上に、Niターゲットと単結晶Si

10

20

30

40

50

ターゲットを用いた同時放電により、膜厚 100 nm のスパッタ層を形成した。スパッタ条件は以下のとおりである。

【0018】

<スパッタ条件>

スパッタガス：アルゴン

ガス圧： 2 mTorr

パワー： RF 150 W (Ni ターゲット)、DC 400 W (Si ターゲット)

【0019】

続いて、上述のアニール条件 (800、窒素雰囲気) で熱処理を行った後、スパッタ層の X 線回折を行った。この結果、スパッタ層は、ニッケルシリサイド (Ni_2Si 、 NiSi) 化していることがわかり、上記アニール条件でオーミックコンタクト層 11 がニッケルシリサイドになっていることが確認できた。

10

【0020】

なお、SiC-MOSFET 100 では、オーミックコンタクト層 11 は、800 以上のアニール処理により通常はニッケルシリサイドになるが、Ni 層の膜厚や熱処理時間、熱処理温度によっては一部がシリサイド化せず、Ni がオーミックコンタクト層 11 の表面に残る場合もある。

【0021】

また、オーミックコンタクト層 11 は、ニッケルシリサイドから形成することが好ましいが、上述のように一部がシリサイド化されずに Ni のままである場合に加えて、オーミックコンタクト層 11 を Ni から形成しても良い。

20

【0022】

オーミックコンタクト層 11 の上には、オーミックコンタクト層 11 の材料と、バリア層 12 の上に形成される電極層 13 の材料との間の相互拡散を防止するためにバリア層 12 が設けられている。バリア層 12 の材料としては、例えば、Mo が用いられる。電極層 13 に含まれる Cu と、オーミックコンタクト層 11 に含まれる Ni とは全率固溶であるため相互拡散が生じやすいが、Cu と Mo は非固溶であるため、相互拡散が殆ど生じない。なお、相互拡散が生じると Cu の導電率が低下し、また界面において脆い相互拡散層が形成されやすく、SiC-MOSFET 100 の性能が劣化する。バリア層 12 の材料としては、Mo 以外に、例えば Ta、W、Nb、Ti またはこれらの窒化物が用いられる。特に、TiN は優れた電気伝導性を示すことから、バリア膜 12 に適している。バリア層 12 の膜厚は、例えば 50 nm であるが、下限が 10 nm、上限が 100 nm の範囲で選択しても良い。

30

【0023】

バリア層 12 の作製にはスパッタ法が用いられるが、材料に Mo を用いた場合の成膜条件は、例えば以下のとおりである。

【0024】

<スパッタ条件>

スパッタガス：アルゴン

ガス圧： 2 ~ 10 mTorr

パワー： DC 260 ~ 500 W

40

【0025】

また、材料に Ta、W、Nb を用いた場合の成膜条件は、例えば以下のとおりである。

【0026】

<スパッタ条件>

スパッタガス：アルゴン

ガス圧： 2 mTorr

パワー： DC 260 ~ 500 W

【0027】

また、材料に Ti を用いた場合の成膜条件は、例えば以下のとおりである。

50

【0028】

<スパッタ条件>

スパッタガス：アルゴン、窒素

ガス圧：2 m T o r r

パワー：D C 2 6 0 ~ 5 0 0 W

【0029】

なお、バリア層12の材料に、M o、T a、W、N bおよびT iの窒化物を用いた場合にも、熱処理でオーミックコンタクト層11からの拡散を防止できることが確認されている。窒化膜はアモルファス化しているため、元素の拡散経路となる粒界が無く、拡散を抑制する効果が高くなると考えられる。

10

【0030】

バリア層12の材料にモリブデン窒化物を用いる場合は、モリブデンターゲットを用いて、スパッタガスにアルゴンと窒素の混合ガスを用いて、以下のスパッタ条件でモリブデン窒化物を作製する。

【0031】

<スパッタ条件>

スパッタガス：アルゴン + 窒素（全流量に対する窒素ガス流量比：30%）

ガス圧：2 m T o r r

パワー：D C 5 0 0 W

【0032】

バリア層12の材料にチタン窒化物を用いる場合は、チタンターゲットを用いて、スパッタガスにアルゴンと窒素の混合ガスを用いて、以下のスパッタ条件でモリブデン窒化物を作製する。

20

【0033】

<スパッタ条件>

スパッタガス：アルゴン + 窒素（全流量に対する窒素ガス流量比：50 ~ 90%）

ガス圧：2 m T o r r

パワー：D C 5 0 0 ~ 1 0 0 0 W

【0034】

バリア層12の上には、電極層13が形成される。電極層13は、例えばCuとZnの合金（Cu - Zn）、CuとNiの合金（Cu - Ni）、CuとTiの合金（Cu - Ti）、CuとAlの合金（Cu - Al）、CuとCaの合金（Cu - Ca）、CuとMnの合金（Cu - Mn）からなる。電極層13の膜厚は、例えば300 ~ 4000 nmであり、例えばスパッタ法を用いて以下の条件で作製される。

30

【0035】

<スパッタ条件>

スパッタガス：アルゴン

ガス圧：2 m T o r r

パワー：D C 2 6 0 ~ 5 0 0 W

【0036】

以上のように形成した、オーミックコンタクト層11、バリア層12、および電極層13から、SiC - M O S F E T 1 0 0のソース電極10が形成される。ソース電極10と同様に、SiC基板1の裏面側にも、オーミックコンタクト層21、バリア層22、および電極層23が順次作製され、ドレイン電極20が形成される。以上により、SiC - M O S F E T 1 0 0が完成する。

40

【0037】

ソース電極10と同様に、SiC基板1の裏面側にも、オーミックコンタクト層21、バリア層22、および電極層23が順次作製され、ドレイン電極20が形成される。以上により、SiC - M O S F E T 1 0 0が完成する。

【0038】

50

このように、本発明の実施の形態にかかるSiC-MOSFET100では、電極層13、23の材料として、従来使用されていたAl系材料(Al、Al-Si等)に代えて、良好な電気伝導性と熱伝導性を有し、かつ耐熱性と機械的強度の高いCu合金(Cu-Zn、Cu-Ni、Cu-Ti、Cu-Al、Cu-Ca、Cu-Mn)を用いた。

【0039】

また、電極層13、23の材料にCu合金を用いることに伴い、オーミックコンタクト層11、21と電極層13、23との間の相互拡散、特にオーミックコンタクト層11、21から電極層13、23へのNiの拡散を防止するために、これらの層の間にバリア層12、22を設けた。

【0040】

これにより、良好な電気伝導性を有するとともに、耐熱性、耐久性に優れ、かつ機械的強度の高いオーミック電極を有するSiC-MOSFET用のオーミック電極、およびそのようなオーミック電極を有するSiC-MOSFETの提供が可能となる。

【0041】

なお、ここでは、SiC-MOSFETについて説明したが、上述のオーミック電極は、例えばショットキバリアダイオードのような他のSiC系半導体装置にも適用することができる。

【0042】

次に、バリア層12の材料を換えた場合の、ソース電極10の熱的安定性について検討する。サンプルは、SiC基板1の上にニッケルシリサイドからなるオーミックコンタクト層11を作製した後、オーミックコンタクト層11の上に、Ti、Ni、Mo、Taからなるバリア層12を作製し、その上にCuの電極層13を作製した。バリア層12の膜厚は50nm、電極層13の膜厚は4000nmとした。比較例として、オーミックコンタクト層11の上に直接Cuの電極層13を積層したサンプルも形成した。

【0043】

熱処理条件は、一般的な半導体装置の製造工程での温度を想定して450とした。熱処理は、窒素雰囲気中で、1時間行った。熱処理の前後において電極層13の電気抵抗率を測定し、バリア層12の効果を評価した。熱処理の前後における電極層13の電気抵抗率の変化を図2に示す。

【0044】

図2は、横軸に示した各サンプルについて、縦軸に熱処理前後の電気抵抗率の値を示す。Ti、Ni、Mo、Taをバリア層に用いたサンプルをCu/Ti、Cu/Ni、Cu/Mo、Cu/Taと記載する。また左端のCuは、比較例としてオーミックコンタクト層11の上に直接Cuの電極層13を作製したサンプルである。

【0045】

図2から分かるように、バリア層にNiを用いたサンプル(Cu/Ni)のみ顕著に電気抵抗率が増加したが、他の材料を用いたサンプル(Cu/Ti、Cu/Mo、Cu/Ta)では、熱処理による電気抵抗率の増加が防止できている。

【0046】

なお、バリア層を形成しないサンプル(Cu)では、比較例に示すように、電極層13の電気抵抗率は、 2.1×10^{-6} cmから 1.35×10^{-5} cmまで大幅に増加した。この電気抵抗率は、サンプル(Cu/Ni)の熱処理後の電気抵抗率より大きく、Ni上よりニッケルシリサイド上の方が、電極層13へのNiの拡散が顕著であることがわかり、実際に電極層13を分析することで、そのことが確認されている。

【0047】

電極層13の電気抵抗率が増加すると、通電時の損失が増えて、SiC-MOSFETの変換効率を著しく低下させる。また、電極層13での発熱により、素子特性が劣化したり、電気抵抗率と相関のある熱伝導率が低下し、熱伝導性の高いCuを電極層に用いたにもかかわらず、熱伝導を低下させ、さらに素子の劣化を促進させる恐れがある。

【0048】

10

20

30

40

50

これに対して、Mo、Ti、Taをバリア層の材料に用いることにより、オーミックコンタクト層11から電極層13へのNiの拡散が防止でき、熱処理後においても良好な電気抵抗率の電極層13が得られ、電気伝導性および熱伝導性に優れた電極層13の形成が可能となる。

【0049】

次に、バリア層12にMoを用いた場合のサンプル(Cu/Mo)と、バリア層12は同じで、電極層13にCu-Zn合金(Cu-0.1at%Zn、Cu-1at%Zn、Cu-2at%Zn、Cu-5at%Zn)を用いたサンプルについて、熱処理後の電極層13の表面状態を観察した。熱処理条件は図2の場合と同じ、450℃で1時間である。

10

【0050】

図3は電極層13がCuのサンプル(Cu/Mo)の表面のSEM写真であり、図4は電極層13がCu-Zn(Cu-1at%Zn)合金のサンプル(Cu-1at%Zn/Mo)の表面のSEM写真である。図3では、電極層13の表面に粒界に沿ったポイドが発生しているが、図4ではこのようなポイドは観察されない。ポイドの発生は耐熱性を低下させるため、電極層13の材料としてCuにZnを添加することにより、熱処理中のポイドの発生を抑制し、耐熱性が向上することがわかる。

【0051】

表1は、各種サンプルについて熱処理を行った場合の、電気抵抗率と耐熱性をまとめた表である。ここでは、オーミックコンタクト層11はNiとし、熱処理条件は、450℃で1時間とした。電気抵抗率の評価は、熱処理後の電極層13の電気抵抗率の値で行い、 $4.0 \times 10^{-6} \cdot \text{cm}$ 以下であれば可(○)、 $4.0 \times 10^{-6} \cdot \text{cm}$ より大きければ不可(×)とした。また、耐熱性の評価は、熱処理後の電極層13をSEM観察し、表面に粒界ポイドが観察されなければ可(○)、観察されれば不可(×)とした。

20

【0052】

【表1】

構造	電気抵抗率 ($\Omega \cdot \text{cm}$)		電気抵抗率	耐熱性	電極層中で検出されたバリア層成分含有率
	As-depo.	熱処理後			
Cu/Mo/Ni	2.00E-06	2.00E-06	○	×	0at%
Cu/Ta/Ni	2.00E-06	2.10E-06	○	×	0at%
Cu/W/Ni	2.00E-06	2.00E-06	○	×	0at%
Cu/Nb/Ni	2.00E-06	2.00E-06	○	×	0at%
Cu-0.1at%Zn/Mo/Ni	2.20E-06	2.10E-06	○	○	0at%
Cu-1at%Zn/Mo/Ni	3.30E-06	2.30E-06	○	○	0at%
Cu-2at%Zn/Mo/Ni	4.20E-06	2.70E-06	○	○	0at%
Cu-3at%Zn/Mo/Ni	5.50E-06	3.30E-06	○	○	0at%
Cu-5at%Zn/Mo/Ni	7.70E-06	4.90E-06	×	○	0at%
Cu-0.1at%Ni/Mo/Ni	2.20E-06	2.00E-06	○	○	0at%
Cu-1at%Ni/Mo/Ni	3.50E-06	2.70E-06	○	○	0at%
Cu-2at%Ni/Mo/Ni	4.60E-06	3.30E-06	○	○	0at%
Cu-3at%Ni/Mo/Ni	6.00E-06	4.20E-06	×	○	0at%
Cu-0.1at%Ti/Mo/Ni	2.50E-06	2.40E-06	○	○	0at%
Cu-0.5at%Ti/Mo/Ni	3.80E-06	3.50E-06	○	○	0at%
Cu-1at%Ti/Mo/Ni	4.50E-06	4.00E-06	×	○	0at%

30

40

50

【0053】

電気抵抗率については、Mo等のバリア層12を用いることにより熱処理前後で電気抵抗率が大きく増加することはないが、Cu-5at%Znでは、Znの割合が大きいため、電気抵抗率が大きくなっている。なお、電極層13中では、バリア層の成分は観察されなかった。

【0054】

Niは、Cuに対して全率固溶だが、Moに対しては非固溶、タングステンとニオブとは化合物を形成する。つまり、バリア層12の材料としては、Cuとは固溶しない材料、すなわち非固溶か化合物を形成する材料を用いることが好ましい。

10

【0055】

耐熱性については、電極層13がCuの場合はいずれも粒界ポイドが観察されたが、Cuに0.1~5at%のZnを加えることにより、表面ポイドの発生が抑制されている。

【0056】

表1のように、電極層13がCuの場合は、熱処理により粒界ポイドが発生するが、一方で、バリア層12を用いない場合には、オーミックコンタクト層11から構成元素がCu電極に拡散して、結果的にCu電極層の耐熱性を向上させることが確認されている。表1では、バリア層12によってオーミックコンタクト層11からの構成元素の拡散が完全

20

【0057】

例えば、上記熱処理に対して耐熱性を有する材料として、表1のCu-1at%Znの他に、Cu-1at%NiやCu-1at%Tiがあげられる。熱処理を行った場合、Cu-1at%Tiでは表面に突起が生じるが、Cu-1at%NiではCu-1at%Znと同様に平坦性が得られる。

【0058】

なお、表1に記載したサンプル以外に、電極層13の材料として、上述のCu-1at%Niや、Cu-0.15at%Ni-0.2at%Nb、Cu-0.15at%Ni-0.2at%Al、Cu-0.15at%Ni-0.2at%Mnを用いた場合も粒界ポイドを抑制できることが確認されている。

30

【0059】

表2は、バリア層12を有さない電極構造の比較例であり、オーミックコンタクト層11の材料として、Ni、Ti、Al、NiSi_x（ニッケルシリサイド）、およびTiSi_x（チタンシリサイド）を用いた。また、電極層13の材料として、Cu、Cu-Ni合金、およびCu-Ti合金を用いた。熱処理条件は、表1と同様の450℃で1時間である。

【0060】

電気抵抗率の評価は、表1と同様に、熱処理後の電極層13の電気抵抗率の値で行い、 $4.0 \times 10^{-6} \cdot \text{cm}$ 以下であれば可(○)、 $4.0 \times 10^{-6} \cdot \text{cm}$ より大きければ不可(×)とした。また、耐熱性の評価は、熱処理後の電極層13の表面をSEM観察し、粒界ポイドが観察されなければ○、観察されれば×、突起が観察されれば△、異常拡散が観察されれば×とした。

40

【0061】

【表 2】

構造	熱処理前 電気抵抗率	熱処理後 電気抵抗率	電極層中で検出さ れたバリア層成分 含有率	耐熱性
Cu/Ni	○	×	5.5at%	○
Cu/Ti	○	×	4.1at%	▲
Cu/Al	○	×	5.3at%	○
Cu-0.1at%Ni/Ni	○	×	4.9at%	○
Cu-1at%Ni/Ni	○	×	6.7at%	○
Cu-2at%Ni/Ni	×	×	8.8at%	○
Cu-0.1at%Ti/Ti	○	×	4.4at%	▲
Cu-1at%Ti/Ti	×	×	5.1at%	▲
Cu-2at%Ti/Ti	×	×	9.5at%	▲
Cu-0.1at%Al/Al	○	×	5.3at%	○
Cu-1at%Al/Al	○	×	4.9at%	○
Cu-2at%Al/Al	×	×	6.3at%	○
Cu/NiSix	○	×	>10at%	△
Cu/TiSix	○	×	>6at%	△
Cu-0.1at%Ni/NiSi	○	×	>10at%	△
Cu-1at%Ni/NiSi	○	×	>10at%	△
Cu-2at%Ni/NiSi	×	×	>10at%	△
Cu-0.1at%Ti/TiSi	○	×	>10at%	△
Cu-1at%Ti/TiSi	×	×	>10at%	△
Cu-2at%Ti/TiSi	×	×	>10at%	△

【0062】

熱処理後の電気抵抗率は、いずれも $4.0 \times 10^{-6} \text{ } \cdot \text{cm}$ より大きくなった。

【0063】

一方、表1と比較すると分かるように、電極層13の材料にCuを用いた場合の耐熱性が改善している。これは、バリア層12が無いために、オーミックコンタクト層11の構成元素が電極層13に拡散したためと考えられる。ただしオーミックコンタクト層11にTiを用いた場合は、熱処理後に電極表面に突起がみられた。これはCu内を拡散したTiとCuの化合物が表面に突起となって生じたものである。

【0064】

また、オーミックコンタクト層11がシリサイド(NiSi、TiSi)の場合は、図5の表面SEM写真に示すように、大きな欠陥が確認された。これは、シリサイドからの異常拡散が原因と考えられる。

【0065】

表2の結果から、熱処理後の電気伝導率および耐熱性の双方を考慮すると、Cuまたはその合金を電極層13の材料として用いた場合は、バリア層12がなければ実用に耐えないことがわかる。

【0066】

SiC-MOSFETは、動作条件によって、使用環境の温度が更に高温になる場合がある。そこで、以下において、それぞれのサンプルについて、450で30分間の熱処理を行った場合の結果と、600で5分間の熱処理を行った場合の結果について検討する。

【0067】

まず、従来のAl系材料を用いた電極層13の耐熱性を評価するため、シリコン基板の表面に作製した膜厚100nmの熱酸化膜(シリコン酸化膜)の上に、Al系膜(Al-

10

20

30

40

50

1 a t % S i 膜) をスパッタで成膜した後、450 で30分間の熱処理と、600 で5分間の熱処理を行い、それぞれ表面状態を観察した。

【0068】

図6は、600 で5分間の熱処理を行った場合のA l 系電極層の表面S E M写真である。450 で30分間の熱処理では、表面には異常は見られなかったが、600 で5分間の熱処理を行った場合は、図6に示すようにヒロックが発生した。このように、A l 系材料を電極層13に用いた場合、600 以上の耐熱性は得られない。

【0069】

また、A l 系電極層と熱酸化膜との間にバリア膜を用いた場合も、同様に、表面ヒロックが発生した。従来のA l 系 (A l - 1 a t % S i) 電極層13では、N i やN i S i のオーミックコンタクト層11の材料との間で相互拡散が発生する。また、電極層13とオーミックコンタクト層11との間にM o やT i Nのバリア層12を設けることで相互拡散を低減できるが、T i のバリア層12ではN i の拡散を防ぐことができない。

【0070】

これに対して、電極層13にC u 系材料を用いることにより、450 だけでなく、600 のような高温環境になった場合でも、適切なバリア層12を選択することで、熱処理後も良好な電気抵抗率の電極層13が得られ、電気伝導性および熱伝導性に優れた電極層13の形成が可能となる。

【0071】

図7は、電極層13 / バリア層12 / オーミックコンタクト層11が、C u / M o / N i S i であるサンプル (表3のN o . B - 9) に、600 で5分間の熱処理を行った後の、表面S E M写真である。また、図8は、電極層13 / バリア層12 / オーミックコンタクト層11が、C u - Z n / M o / N i S i であるサンプル (表3のN o . B - 11) に、600 で5分間の熱処理を行った後の、表面S E M写真である。

【0072】

図7では、C u の電極層13において、粒界に沿ってポイドが発生していることがわかる。ポイドの発生は、450 で30分間の熱処理を行った場合と比較すると、より顕著になっている。これに対して、図8から分かるように、C u - Z n の電極層13では、ポイドの発生は低減されている。ポイドの発生は電極層13の耐熱性を低下させるため、電極層13の材料としてC u にZ n を添加することにより、熱処理中のポイドの発生を抑制し、耐熱性が向上することがわかる。

【0073】

表3は、上記2つのサンプルに加えて、様々なサンプルについて、450 で30分間の熱処理、または600 で5分間の熱処理を行った場合の、電気抵抗率と耐熱性の評価結果である。ここでは、全てのサンプルは、S i 基板の上にS i O₂ 膜を形成し、その上に、表3の構造を形成した。オーミックコンタクト層11にN i またはニッケルシリサイド (N i S i) を用い、熱処理条件は、450 で30分間、または600 で5分間とした。

【0074】

電気抵抗率の評価は、熱処理後の電極層13の電気抵抗率の値で行い、 $4.0 \times 10^{-6} \cdot \text{cm}$ 以下であれば可 ()、 $4.0 \times 10^{-6} \cdot \text{cm}$ より大きければ不可 (x) とした。また、耐熱性の評価は、熱処理後の電極層13をS E M観察し、表面に粒界ポイドが観察されなければ可 ()、粒界ポイドが観察されれば不可 (x)、突起物が観察されれば不可 ()、異常拡散が観察されれば不可 () とした。

【0075】

10

20

30

40

【表 3】

No.	構造	電気抵抗率 $\Omega \cdot \text{cm}$			電気抵抗率		耐熱性	
		As-depo.	450°C 熱処理後	600°C 熱処理後	450°C	600°C	450°C	600°C
B-9	Cu/Mo/NiSi	2.3E-06	2.0E-06	2.3E-06	○	○	×	×
B-10	Cu-1at%Ni/Mo/NiSi	4.5E-06	3.4E-06	3.3E-06	○	○	○	○
B-11	Cu-1at%Zn/Mo/NiSi	2.9E-06	2.0E-06	2.0E-06	○	○	○	○
B-13	Cu/TiN/Ni	2.2E-06	2.1E-06	1.2E-05	○	×	×	△
B-14	Cu/TiN/NiSi	2.1E-06	2.0E-06	5.1E-06	○	×	×	×
B-20	Cu-1at%Zn/TiN/NiSi	2.8E-06	2.0E-06	3.3E-06	○	○	○	○

10

【0077】

表3のNo. B-9～B-11は、Moをバリア層12に用いて、Cu系の電極層13を評価した結果である。600℃で5分間の熱処理後も、Moバリア層12によって相互拡散が抑制され、優れた電気抵抗率と耐熱性を示した。600℃で5分間の熱処理後も、Cu/Mo間の反応は見られず、Moバリア層12によって、NiSiオーミックコンタクト電極11からの元素拡散が抑制されていることが分かる。また、Cu系の電極層13自体の耐熱性を向上させるために、Cu電極層13に、NiやZnの元素の添加が有効であることも分かる。

【0078】

20

表3のNo. B-13、14、20は、バリア層12にTiNを用いて、Cu系の電極層13を評価した結果である。450℃で30分間の熱処理後には、電気抵抗率の増加や表面異常は観察されなかった。例えばNo. B-14に示すように、600℃で5分間の熱処理によって、Cu電極層13とTiNバリア層12との間で相互拡散が発生することが分かる。特に、Ni系のオーミックコンタクト電極11を用いた場合は、拡散が顕著である。この原因としては、TiNはアモルファスであり、一部のTiから窒素が脱離し、拡散に寄与している可能性が考えられる。Tiは、CuとNiの双方と金属間化合物を形成するため、TiとNiのいずれかがCu電極中へ拡散していると予想される。

【0079】

30

一方、No. B-20 (Cu-Zn電極層13 / TiNバリア層12) では、No. B-13に示すCu電極層13の場合に比較して、電気抵抗率の増加が小さくなっている。Cu中にZnをブレンドして、Cu-Znの電極層13とすることにより、TiNからのTi拡散を抑制していると予想される。Cu-ZnなどのCu合金を電極層13とすることで、耐熱性の改善だけでなく、NiSiオーミックコンタクト層11に対して、TiNバリア層12の適用が可能となる。

【符号の説明】

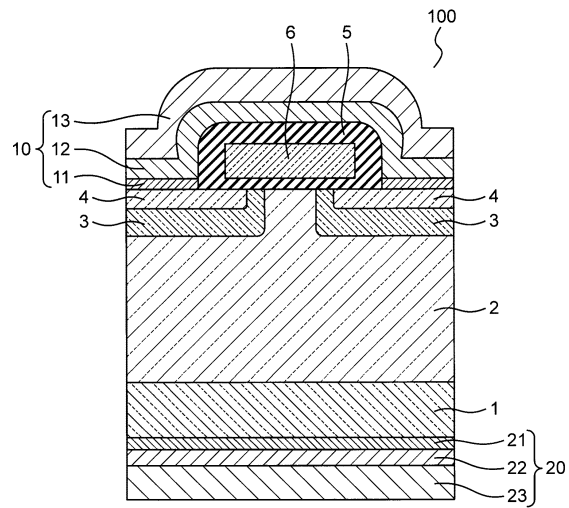
【0080】

- 1 SiC基板
- 2 エピタキシャル層
- 3 p型領域
- 4 n型領域
- 5 絶縁膜
- 6 ゲート電極
- 10 ソース電極
- 20 ドレイン電極
- 11、21 オーミックコンタクト層
- 12、22 バリア層
- 13、23 電極層
- 100 SiC-MOSFET

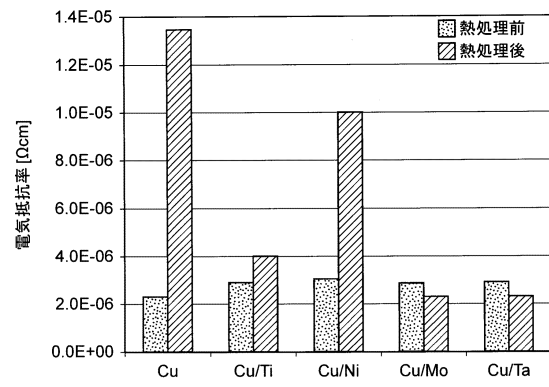
40

50

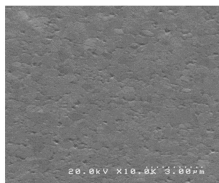
【図 1】



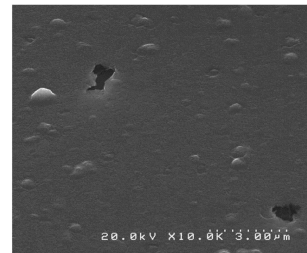
【図 2】



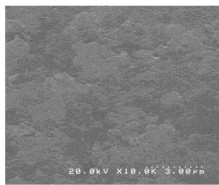
【図 3】



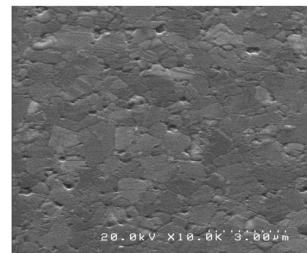
【図 6】



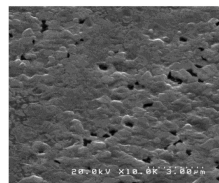
【図 4】



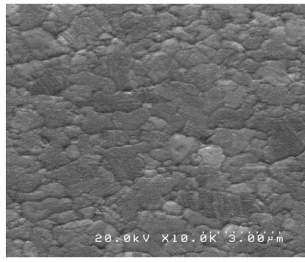
【図 7】



【図 5】



【図 8】



フロントページの続き

(51)Int.Cl. F I
H 0 1 L 29/78 6 5 8 F

(72)発明者 坂本 尚敏
兵庫県神戸市中央区脇浜海岸通二丁目2番4号 株式会社神戸製鋼所内

審査官 佐藤 靖史

(56)参考文献 特開2006-032457(JP,A)
特開2015-109474(JP,A)
特開2006-032456(JP,A)
特開2014-110362(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
H 0 1 L 2 9 / 7 8
H 0 1 L 2 1 / 2 8
H 0 1 L 2 1 / 3 3 6
H 0 1 L 2 9 / 1 2