

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 9 日現在

機関番号：17104

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25420290

研究課題名(和文)高密度ラジカル法による界面制御層を導入したパワーデバイス用絶縁膜の形成

研究課題名(英文) Formation of insulators for the power devices inserting interface control layer by high-density radical method

研究代表者

和泉 亮 (IZUMI, AKIRA)

九州工業大学・大学院工学研究院・教授

研究者番号：30223043

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,900,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では高品質絶縁膜/SiC構造を実現するための界面制御層の導入およびポスト熱処理に関する基礎検討を行っている。本研究ではSiC基板を用いずにSi(100)基板で調査した。界面制御層形成には加熱フィラメントによるNH₃ガスの接触分解により行い、フィラメント温度：1600、基板温度：200、処理時間：30分の処理が最適であることを明らかにした。また、ポスト熱処理の最適条件を調べたところ、窒素雰囲気中、400で60分間の処理で界面準位密度を低減できることを明らかにした。

研究成果の概要(英文)：In this work, we carried out the basic study on the introduction of the interface control layer and post-heat treatment condition in order to realize a high-quality insulating film / SiC structure. We investigated in the Si (100) substrate without using the SiC substrate in this study. The interface control layer formation was carried out by catalytic decomposition of NH₃ gas by heating the filament. The optimal condition was revealed as follows; filament temperature: 1600 ° C., the substrate temperature: 200 ° C, treatment time: 30 min. In addition, we examine the optimal conditions of the post-heat treatment in a nitrogen atmosphere. It was found that it is possible to reduce the interface state density by the treatment for 60 minutes at 400 .

研究分野：半導体プロセス

キーワード：表面改質 表面窒化

1. 研究開始当初の背景

SiC は Si に代わるパワーデバイス用半導体として注目されている。しかしながら、良質なゲート絶縁膜の形成が困難であるため、SiC のパフォーマンスを十分に発揮できていないのが実情である。

2. 研究の目的

本研究では、金属-絶縁体-半導体(MIS)構造の形成を通して、SiCN 膜および半導体との界面構造の高品質化を行うことを目的としている。

3. 研究の方法

本研究では SiC 基板を用いずに Si(100)基板で調査した。理由は MIS 構造を形成するための安定した品質の SiC 基板の入手が困難であったことと、オーミックコンタクトの形成条件が得られなかったためである。SiCN 膜の堆積方法には、原料ガスに非爆発性有機液体原料であるヘキサメチルジシラザン (HMDS) を使用し、Hot Wire Chemical Vapor Deposition : ホットワイヤー化学気相堆積 (HWCVD) 法を用いて Si(100)基板上に堆積を行った。堆積条件を表 1 に示す。また、界面状態の特性向上のため、SiCN 膜の堆積前に原料を NH₃ のみとして Si(100)の表面窒化処理(ラジカル窒化)を行った。堆積した SiCN 膜に対して電気炉を用いて N₂ 雰囲気中で加熱処理を行った。まず 400~1000 までの温度で 10 分間処理を行い、高周波 (1MHz) の C-V 測定を行った。次に 400 の加熱処理を 10 ~ 240 分まで変化させて行い、先程と同じ C-V 測定を行って、加熱処理による影響を調査した。また、FT-IR 法で化学結合状態の評価を行った。

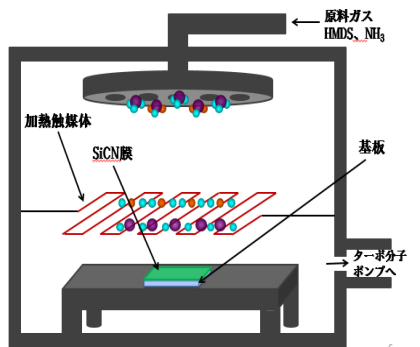


図 1 . HWCVD 装置の概略図

NH ₃ 流量 [sccm]	50
HMDS流量 [sccm]	1.3
背圧 [Pa]	4.0×10 ⁻⁵
ガス圧 [Pa]	1.3
電流 [A]	28
電圧 [V]	62
触媒体温度 [°C]	1593
基板温度 [°C]	300~350
窒化処理時間 [min]	20
堆積時間 [min]	22
膜厚 [nm]	50程度

4. 研究成果

ラジカル窒化により Si(100)に対して処理を行ったところ、極薄の SiN 膜が形成できることを確認した。基板温度: 200、HW 温度: 71600、30 分の処理で 0.6nm の SiN 膜厚が形成できていることが分った。窒化処理を行った基板上に SiCN 膜を堆積し、MIS 構造を作成し、その C-V 特性を測定した。図 2 に固定電荷密度と窒化処理時間、図 3 にフラットバンド電圧シフトと窒化処理時間、図 4 に界面準位密度と窒化処理時間の関係を示す。これより、30 分の窒化処理によって、いずれの値が最も低減されていることが分かる。よってこの窒化条件が最も良質な界面形成に有効であると言える。

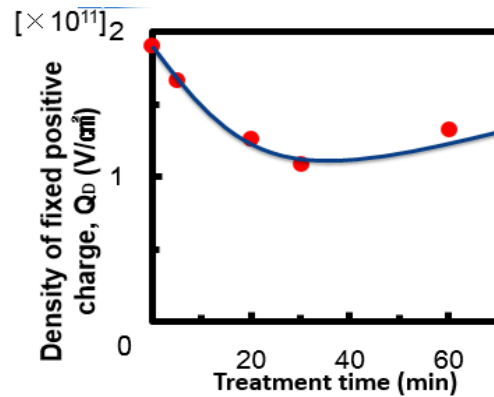


図 2 . 処理時間と固定電荷密度の関係

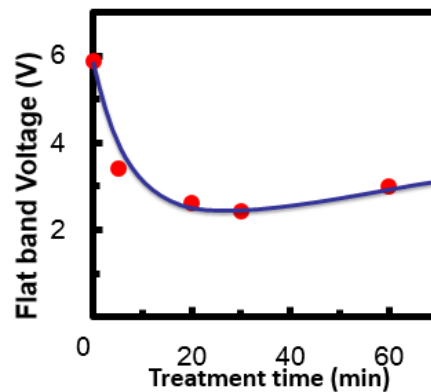


図 3 . 処理時間とフラットバンド電圧シフトの関係

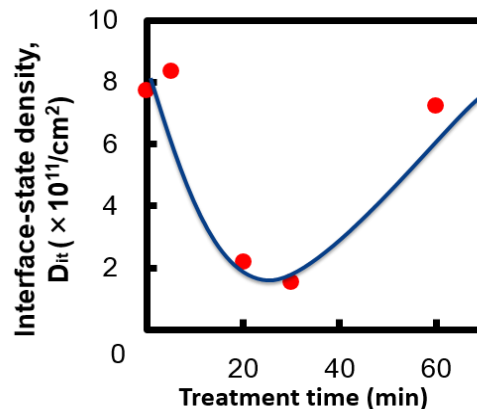


図 4 . 処理時間と界面準位密度の関係

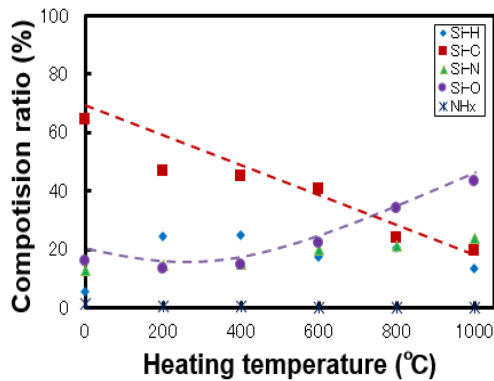


図5. FT-IR法で評価したSiCN膜の結合状態と熱処理の関係

図5にFT-IR法で評価したSiCN膜の結合状態と熱処理の関係を示す。熱処理時間は10分間に固定した。これより、600付近からSi-O結合増加し、Si-C結合減少する傾向にあることがわかる。

400~1000で10分間加熱処理したSiCN膜の界面準位密度の関係を図6に示す。熱処理温度400で界面準位密度は最も減少しており、熱処理により良好な界面が形成されていることが確認できる。またさらに温度を上げるとその値は増加し、600付近で増加は止まり飽和する傾向が見られた。

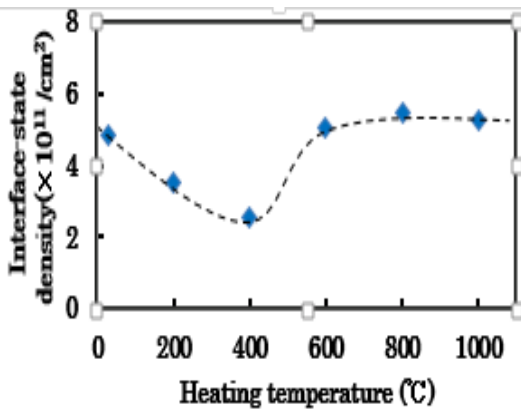


図6. 400~1000で10分間加熱処理したSiCN膜の界面準位密度の関係

次に400で10~240minと変化させて加熱処理をしたSiCN膜の界面準位密度の関係を図7に示す。界面準位密度は熱処理時間の増加に伴い減少し、60minで最小値を示し、その後再び増加することが分かった。またC-V測定の結果より、熱処理時間60minで、フラットバンド電圧シフト、ヒステリシスループ幅、固定電荷密度の減少も確認できた。

HWCVD装置により生成したNH₃分解種により低温でSi表面に窒化層形成できることを明らかにした。また、窒化層を導入し

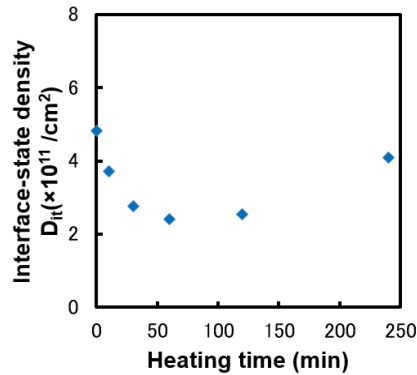


図7. 処理時間と界面準位密度の関係

たSiCN/Si(100)MIS構造の界面状態を良好にすることを明らかにした。更に、Si(100)上に堆積したSiCN膜に熱処理を施すことにより、界面準位密度は減少し、SiCN膜およびSiCN/Si(100)界面の改質が得られた。またその最適条件は処理温度400、処理時間60minであることがわかった。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計0件)

[学会発表](計7件)

林田祥吾、和泉亮、窒化層を導入したSiCN/Si(100)の絶縁特性、応用物理学会九種支部学術講演会、2015年12月5日(琉球大学工学部)

林田祥吾、井上洋平、和泉亮、HWCVD法により堆積したSiCN/Si(100)の熱処理による電気的特性の向上、九州薄膜・真空研究会2015、2015年6月13日(九州工業大学工学部)

伊勢田哲平、中上昌俊、山本賢宏、山田知宏、門谷豊、和泉亮、HWCVD法により成膜したSiCN膜の剥離強度特性~熱処理効果の検討~、応用物理学会九州支部学術講演会、2014年12月6日(大分大学工学部)

T. Iseda, M. Nakagami, T. Yamada, Y. Kadotani, A. Izumi, Adhesion properties of SiCN films deposited by hot-wire chemical vapor deposition, HWCVD 8 conference, 16 Oct. 2014, Braunschweig (Germany)

井上洋平、森田慎弥、和泉亮、窒化層導入したSiCN/Si(100)の電気的特性、第11回Cat-CVD研究会、2014年7月11日(東北大学)

山本賢宏、山田知宏、門谷豊、和泉亮、Si基板上に堆積したSiCN膜機械的特性調査および熱処理の検討、第12回Cat-CVD研究会、2014年7月3日(名古屋大学)

森田慎弥、井上洋平、和泉亮、HW 法により堆積した SiCN 膜の電気的特性、応用物理学会九州支部学術講演会、2013 年 12 月 1 日（長崎大学工学部）

6 . 研究組織

(1)研究代表者

和泉 亮 (IZUMI, Akira)

九州工業大学・大学院工学研究院・教授

研究者番号：3 0 2 2 3 0 4 3