The University of Osaka
Institutional Knowledge Archive

Title	GaAs/Siの電子デバイス応用に関する研究
Author(s)	藍郷, 崇
Citation	大阪大学, 1997, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://doi.org/10.11501/3129245
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

https://ir.library.osaka-u.ac.jp/

The University of Osaka

【 82 】

氏　　名	藍(あい)　郷(ごう)　崇(たかし)
博士の専攻分野の名称	博　士（工　学）
学位記番号	第　12855　号
学位授与年月日	平成9年3月18日
学位授与の要件	学位規則第4条第2項該当
学位論文名	**GaAs/Siの電子デバイス応用に関する研究**
論文審査委員	（主査） 教授　濱口　智尋 （副査） 教授　吉野　勝美　教授　尾浦憲治郎　教授　西原　浩 教授　森田　清三　教授　谷口　研二

論文内容の要旨

本論文は，有機金属気相成長法（MOCVD法）によりSi基板上に成長させたGaAsエピタキシャル層（以下GaAs/Si）の電子デバイスへの応用に関するもので，成長方法，エピ層の評価，電子デバイスへの応用，デバイスの信頼性について述べたものである。論文は7章で構成されている。

第1章では本研究の背景を述べている。近年，移動体通信機器市場が飛躍的に拡大したことにより，GaAs系電子デバイスさらにはGaAs基板の需要が急激に増加してきている。一方Si基板は現在の半導体産業を支える基本材料であることはもとより，機械的堅牢さ，良好な熱伝導性，大口径な基板等，GaAs基板では得られない魅力を備えている。GaAs/Si基板は，この両者の特長を合わせ持つことでデバイスの特性向上かつコストダウンが期待されるとして研究が進められていたが，高密度の転位，残留応力，Si基板あるいはSi-GaAs界面の導電性等，ヘテロエピタキシャル基板であるが故の問題点により，実デバイス用基板としての積極的な使用の動きは見られていなかった。しかし本研究により，応用デバイスによってはGaAs/Si基板でもGaAs/GaAs基板と同等な特性の得られることが示されている。

第2章ではMOCVD装置の概要とこの装置を用い二段階成長法で行った電子デバイス用GaAs/Siの成長条件について述べている。また本研究で用いた縦型高速回転タイプのMOCVD装置が，その構造上，Si基板からのSiのオートドーピングが防止できることも示されている。

第3章では，成長したGaAs/Siのキャリア密度，膜厚の面内均一性，バッファ層のリーク電流，キャリア移動度および表面モホロジーを調べ，それぞれ電子デバイス用ウェーハとしての仕様を満足していることを述べている。さらにデバイスのゲートショットキー接合を利用して測定した熱抵抗の結果から，GaAs/Siの熱的優位性が実証されたことを示している。

第4章では，高電子移動度トランジスタ（HEMT）構造を持つGaAs/Siを試作し，そのしきい値電圧分布と高周波特性を評価した結果について述べている。しきい値電圧のミクロ（1.95×1.9 mm^{2}内）評価においてはV_{th}の平均値−0.10 Vに対し，標準偏差σV_{th}=9 mVというHEMT/GaAsに匹敵する極めて優れた均一性が得られたことを示しており，さらに結晶内部に存在する転位はHEMTのようなエピタキシャル層を用いるデバイスのしきい値電圧分布に

は影響を与えていないことを述べている。高周波評価から明らかになったこととして，HEMT/Si は HEMT/GaAs に比べて寄生成分，特に寄生容量の影響を大きく受けていることを述べている。この寄生容量は，主として Si 基板-GaAs 界面の導電層によって誘起されたゲートパッド容量によるものであり，パッド面積の縮小やパッド下絶縁層の挿入時のプロセスにより，GaAs 基板上のパッド容量並に減少できること，さらに実際にそのような対策を施した HEMT/Si ではゲート長0.84 μm で f_T および f_{max} が24GHz となり，HEMT/GaAs に遜色のない特性を示したことを述べている。

第 5 章では，第 4 章で得られた知見をもとにゲートパッドによる入力寄生容量の影響を小さくするため，入力真性容量が大きい高出力電界効果トランジスタ（パワー MESFET）を GaAs/Si を用いて試作した結果について述べている。ゲート長0.8 μm，ゲート幅5.6 mm のデバイスに対し，周波数0.85GHz，ドレイン電圧3.6 V という携帯電話での応用を想定した条件で評価した結果は，線形領域での利得が約20 dB，また 1 dB コンプレッション時の出力が25.7 dBm (370 mW)，その時の電力付加効率が57%と GaAs/GaAs デバイスと同等の特性が得られたことを述べている。

第 6 章では第 5 章で試作した GaAs/Si と GaAs/GaAs のパワー FET を用いて直流による通電高温放置試験を行い，両者の信頼性を評価した結果について述べている。この加速試験からチャネル温度130°Cの時の GaAs/SiMESFET の平均故障時間（MTTF）として1.28×10^6 hr と通常の市販レベルの GaAs/GaAsMESFET と同等の値が得られ，デバイスの経時劣化をもたらす可能性があるとして懸念されていた GaAs/Si 中に存在する転位や残留応力は，デバイスの信頼度に影響を与えないことを述べている。

第 7 章は本研究の結果をまとめたものである。

論文審査の結果の要旨

GaAs/Si は近年需要が増大している GaAs 系移動体通信用素子の基板材料として，従来の GaAs/GaAs に比べ熱伝導性が良いことおよび大口径の基板が得られることから，デバイスの特性向上とコストダウンを同時に達成できる可能性を持っているが，その実用化を図る際には，ヘテロエピタキシャル基板であるが故の高密度転位，残留応力，Si 基板あるいは Si-GaAs 界面の導電性等がデバイスに与える影響の有無を調べることが必須である。本研究は GaAs/Si 基板に対し，ウェーハ評価，HEMT およびパワー MESFET 試作によるデバイス評価，デバイスの信頼度評価を行い，応用デバイスによっては GaAs/Si 基板でも GaAs/GaAs 基板と同等な特性の得られることを初めて示したもので，その主な成果は以下の通りである。

(1) GaAs/Si の熱抵抗をショットキー接合の順方向電圧の温度依存性を用いて測定し，GaAs/GaAs に対して明らかに有意差のあることを示している。

(2) 転位密度の異なる GaAs/Si 基板上に HEMT を試作し，そのしきい値電圧分布の評価から，転位は HEMT のようなエピタキシャル層を用いるデバイスのしきい値電圧分布には影響を与えていないことを示している。

(3) 高周波評価をもとに，GaAs/Si を用いた電子デバイスでは寄生容量や寄生抵抗の影響が大きいことを示しており，これらの影響を定量的に評価するため新しい等価回路を提案している。さらにこの等価回路による解析およびシミュレーションから，上記寄生成分の影響は主として Si 基板-GaAs 界面の導電図によって誘起されたパッド容量，特にゲートパッドの寄生容量によるものであることを明らかにしている。この寄生容量は，パッド面積の縮小やパッド下絶縁層の挿入等のプロセスにより GaAs 基板上のパッド容量並に減少できることを実際の試作から明らかにしており，その結果として，ゲート長0.8 μm の HEMT/Si で24GHz の f_T および f_{max} と HEMT/GaAs に遜色のない特性を得ている。

(4) さらに，ゲート幅の大きいデバイスは入力真性容量が大きいため，必然的にゲートパッドによる入力寄生容量の影響が小さくできるという観点より，GaAs/Si を用いてパワー MESFET を試作し，ゲート長0.8 μm，ゲート幅5.6 mm のデバイスで，線形領域での利得が約20 dB，また 1 dB コンプレッション時の出力が25.7 dBm(370 mW)，そ

の時の電力付加効率が57%とGaAs/GaAsデバイスと同等の特性が得られたことを示している。

(5) GaAs/SiとGaAs/GaAsを用いたMESFETに対し直流による高温通電放置試験を行い，両者とも故障のモードは同じであること，さらにその寿命もほぼ等しいことを示しており，デバイスの経時劣化をもたらす可能性があるとして従来より懸念されていたGaAAs/Si中に存在する転位や残留応力は，デバイスの信頼度に影響を与えないことを明らかにしている。

以上の様に，本論文は従来の基板材料であるGaAs/GaAsの欠点を克服するものとして期待されているGaAs/Siに対し，デバイス試作による評価を行っている。その結果，Si基板-GaAs界面の導電層によって誘起されたパッドの寄生容量が特性に影響を与えているものの，パッド形成プロセスの改善で，あるいはパワーFETのような入力真性容量の大きいデバイスに適用するならばプロセスの変更をすることなく，その影響を回避でき，GaAs/GaAsと同等な特性の得られることを初めて示している。また転位や残留応力がデバイスの特性分布や信頼度に影響を与えないことも明らかにしている。これらは現在急速に需要が拡大している移動体通信機器のキーコンポーネントであるGaAs系電子デバイスの基板材料として，GaAs/Siが十分代替できることを示すものであり，デバイスの特性向上とコストダウンの大きな可能性を示したことから，電気電子工学に寄与するところが大きい。よって，本論文は博士論文として価値あるものと認める。