The University of Osaka
Institutional Knowledge Archive

Title	高電界、高湿度環境下における AlGaAs/InGaAs PHEMT の劣化メカニズムと改善に関する研究
Author(s)	日坂, 隆行
Citation	大阪大学, 2010, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/58344
rights	
Note	著者からインターネット公開の許諾が得られていないため、論文の要旨のみを公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、大阪大学の博士論文についてをご参照ください。

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

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

The University of Osaka

【153】

氏　　名	日坂隆行（ひさか たかゆき）
博士の専攻分野の名称	博　士（工　学）
学　位　記　番　号	第　２４２４０　号
学位授与年月日	平成22年9月22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	**高電界、高湿度環境下における AlGaAs/InGaAs PHEMT の劣化メカニズムと改善に関する研究**
論文審査委員	（主査） 教　授　朝日　一 （副査） 教　授　谷口　研二　　准教授　長谷川繁彦　　教　授　伊藤　利道 教　授　森　勇介　　教　授　片山　光浩　　教　授　尾﨑　雅則 教　授　栖原　敏明　　教　授　近藤　正彦　　教　授　森田　清三 教　授　八木　哲也

論文内容の要旨

AlGaAs/InGaAs擬似格子整合型高移動度トランジスタ（PHEMT）は、優れた高周波特性からDBS用低雑音素子、携帯電話用アンプ等に用いられ、衛星放送及び携帯電話の普及に大きく貢献してきた。近年、車載衝突防止レーダー等に不可欠な準ミリ波～ミリ波帯デバイスの需要が高まり、PHEMTのさらなる高性能化が強く求められている。またGaAsデバイスの汎用化が進むにつれ、低コスト化の要求も年々高まっている。本研究では、高性能、低コストなPHEMTデバイスの実現に向け、課題となっている耐電界性、耐湿性の向上に関する研究をとりあげたものである。

第１章では、本研究の背景として、PHEMTデバイスの高性能化、低コスト化を実現するための課題、本論文の目的及び構成について述べた。

第２章では、PHEMTの作製方法、信頼性試験方法、及び分析方法について述べた。

第３章では、気密パッケージに封止したPHEMTの高電界による劣化について、残留した水分あるいは酸素とゲート-ドレイン間の高電界により半導体表面に変質層が形成され、これがチャネル層を狭窄することで最大飽和ドレイン電流(I_{max})が低下し、その結果出力電力が低下することを明らかにした。

第４章では、高温高湿度環境下で保存した場合のPHEMTの劣化について、閾値電圧(V_{th})のシフトとI_{max}の減少の２つのモードの劣化が生じることを示し、それぞれ、SiN_x保護膜の剥がれによりゲート周辺部のストレス変化、リセス表面劣化によるチャネル層狭窄が原因であることを明らかにした。

第５章では、PHEMTの劣化が半導体表面の腐食反応に起因する新たなモデルを提案し、電界、温度、湿度のそれぞれのストレスが劣化に与える影響を電気化学的な反応に基づき議論した。提案したモデルによる温度、湿度、電界の加速性は、実験結果と定性的に一致することを示した。

第６章では、明らかにしたPHEMTの劣化メカニズムに基づき、独自に開発した表面処理を行うことで、表面腐食反応を抑制し、大気中においても10^5 hr以上のRF動作を確認した。本成果により、高耐湿、高性能MMICの製品化に成功し、車載レーダー用モジュールの非気密化による低コスト化に貢献した

第７章では、本研究で得られた成果について総括した。

論文審査の結果の要旨

AlGaAs/InGaAs擬似格子整合型高移動度トランジスタ（PHEMT）は、優れた高周波特性から衛星放送受信用低雑音素子、携帯電話用アンプ等に用いられ、マイクロ波高度情報通信の進展を支えてきた。近年、車載衝突防止レーダー等に代表される準ミリ波～ミリ波帯デバイスの需要が高まり、PHEMTのさらなる高性能化、低コスト化が強く要求されている。PHEMTの高性能化ために、ゲート長の短縮、チャネル層薄層化が不可欠であるが、素子の微細化により電界が増大し電界起因の素子劣化が生じる問題がある。また低コスト化のために、樹脂等を用いた廉価な非気密パッケージの適用が最も有効であるが、GaAsデバイス自体で耐湿性を確保することが必須となる。本論文は、PHEMTデバイスの高性能化、低コスト化のために課題となっている耐電界性、耐湿性の向上に関する研究をとりあげたものであり、以下の結果を得ている。

(1)気密パッケージに封止したPHEMTの高電界による劣化について、残留した水分あるいは酸素とゲート-ドレイン間の高電界により半導体表面に変質層が形成され、これがチャネル層を狭窄することで最大飽和ドレイン電流が低下し、その結果出力電力が低下することを明らかにしている。

(2)高温高湿度環境下で保存した場合のPHEMTの劣化について、①閾値電圧のシフトと②最大飽和ドレイン電流の減少の２つのモードの劣化が生じることを示し、それぞれ、①窒化シリコン保護膜の剥がれによるゲート周辺部のストレス変化、②リセス表面劣化によるチャネル層狭窄が原因であることを明らかにしている。

(3)電界及び水分に起因したPHEMTの劣化について、半導体表面の腐食反応によりドレイン電流を減少させる新たなモデルを提案し、電界、温度、湿度のそれぞれのストレスが劣化に与える影響を電気化学的な反応に基づき説明している。提案したモデルによる温度、湿度、電界の加速性は、実験結果と定性的に一致することを示している。

(4)明らかにしたPHEMTの劣化メカニズムに基づき、独自に開発した表面処理を行うことで、表面腐食反応を抑制し、大気暴露においても10^5 hr以上の大信号動作時の寿命を確認している。本成果により、PHEMTの耐湿性、耐電界性を向上させ、その結果、高性能、高信頼度の77GHz帯モノリシックマイクロ波集積回路(MMIC)の製品化に成功し、車載レーダー用モジュールの非気密化による低コスト化を実現している。このPHEMTの高性能化、低コスト化の成果は、車載レーダーに限らず、今後のPHEMTの応用分野を拡大する経済効果をもたらし、かつ独自に開発した表面処理技術は、他の電界効果型トランジスタ(FET)及びヘテロ接合バイポーラトランジスタ（HBT）への適用可能な普遍的な成果をもたらすと考える。よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。