

Title	容量-周波数-温度マッピングによるワイドキャップ金属-絶縁体-半導体デバイスの解析手法
Author(s)	Shih, Hong-An
Citation	
Issue Date	2014-09
Type	Thesis or Dissertation
Text version	ETD
URL	http://hdl.handle.net/10119/12308
Rights	
Description	Supervisor:鈴木 寿一

氏名	HONG-AN SHIH		
学位の種類	博士(マテリアルサイエンス)		
学位記番号	博材第 359 号		
学位授与年月日	平成 26 年 9 月 24 日		
論文題目	Characterization method for wide-gap metal-insulator-semiconductor devices by using capacitance-frequency-temperature mapping (容量-周波数-温度マッピングによるワイドキャップ金属-絶縁体-半導体デバイスの解析手法)		
論文審査委員	主査	鈴木 寿一	北陸先端科学技術大学院大学 教授
		徳光 永輔	同 教授
		水田 博	同 教授
		水谷 五郎	同 教授
		橋詰 保	北海道大学量子集積エレクトロニクス研究センター 教授

論文の内容の要旨

Wide-gap semiconductor GaN is anticipated for its potential to overcome the trade-off between speed and power in semiconductor devices. In particular, GaN-based metal-insulator-semiconductor heterojunction field-effect transistors (MIS-HFETs) have been investigated extensively owing to the merits of gate leakage reduction and passivation to suppress the current collapse. For both gate-insulator or passivation applications, controlling insulator-semiconductor interfaces is critical for device performances. Therefore, it is important to characterize and analyze the interface states. In fact, we sometimes observe frequency dispersion in C - V characteristics of MIS devices, attributed to electron trapping at interface mid-gap states leading to a gate control impediment. While such interface states in GaN-based MIS devices have been characterized and analyzed by conductance method, Terman method, photo-assisted C - V method, and deep level transient spectroscopy, we proposed a method using capacitance-frequency-temperature (C - f - T) mapping obtained from temperature-dependent capacitance-voltage-frequency (C - V - f) characteristics, as an extension of the conductance method based on Lehocvec's AC small-signal equivalent circuit of a MIS structure. The C - f - T mapping method gives activation energies of electron trapping, corresponding to interface state energy levels, for a much extended range of the gate biases, being important as an auxiliary tool to the conventional conductance method.

The effectiveness of the method is exemplified by applications to fabricated MIS devices with different treatments for the insulator-semiconductor interface. We fabricated AlGaN/GaN MIS-HFETs with a sputtering-deposited AlN gate insulator, and simultaneously obtained MIS structures with 100 nm gate electrode and the Ohmic electrode surrounding the gate. Before the AlN gate insulator deposition, we employed two types of surface treatments for AlGaN. One

includes cleaning by organic solvents and oxygen plasma ashing for removing organic contaminants, and an additional cleaning by Semicoclean (an ammonium-based solution, ABS) with the intention of removing oxides. The other includes only cleaning by the organic solvents and the oxygen plasma ashing without cleaning by the ABS. We measured T -dependent C - V - f characteristics of the MIS structures to obtain C - f - T mappings at various gate biases. From contours exhibiting a straight line behavior, we extracted activation energies E_a depending on the gate bias. For both surface treatments, the method gives E_a for a wide range of gate biases, being effective for characterization of wide-bandgap devices with deep interface states. Through characterizing the activation energies modulated by the gate biases, we evaluated the gate-control efficiencies of the MIS structures. From the gate-control efficiencies, we obtained interface state densities through Lehocvec's small-signal equivalent circuit in the DC limit. We showed correlations between the interface-treatment-dependent gate-control efficiencies, interface state densities, and intrinsic transconductances in the linear region of the MIS transistors. Moreover, we also presented an X-ray photoelectron spectroscopy analysis of AlN/AlGaN interfaces in relation to the gate-control efficiencies and interface state densities.

In conclusion, we have proposed and developed the C - f - T mapping method, a characterization method for wide-gap MIS devices. The method gives the activation energy of electron trapping for a much extended range of the gate biases, compared to the conventional conductance method. The effectiveness of the method is exemplified by applications to the AlN/AlGaN/GaN MIS devices, with evaluation of the gate-control efficiency, the interface state density, related to the intrinsic transconductance. The C - f - T mapping method provides the insights of deep interface states, being useful in the characterization of wide-gap MIS devices.

Keywords: wide-gap MIS devices, C - V characteristics, frequency dispersion, C - f - T mapping, interface states, AlGaN/GaN

論文審査の結果の要旨

本論文では、GaN などのワイドギャップ半導体を用いた金属-絶縁体-半導体 (Metal-Insulator-Semiconductor, MIS) デバイスに対して、容量と周波数と温度に関するマッピングを用いた新たな評価解析手法が提案され、その有効性を実証した結果が示されている。

ワイドギャップ半導体を用いた能動デバイス技術の進展は、今後の無線通信応用・パワースイッチング応用において極めて重要である。とりわけ、ワイドギャップ半導体の MIS

デバイス技術の重要性は高い。こうした MIS デバイスでは、絶縁体・半導体界面の制御がデバイス性能を決定的に左右するため、この界面を詳しく評価解析する技術が必要不可欠である。従来より、界面を評価解析する手法としてコンダクタンス法が用いられてきたが、ワイドギャップ半導体特有の深い界面準位の評価が難しく、この手法の適用範囲は限定的であった。

そこで、本研究では、容量-周波数-温度(Capacitance-Frequency-Temperature, CfT)マッピングを用いた評価解析手法が提案された。この手法では、MIS デバイスの容量の周波数依存性と温度依存性を測定し、容量を周波数と温度の関数としてマッピングする。このマッピングにおける等高線から、界面準位の深さに対応する活性化エネルギーが、コンダクタンス法よりも広い範囲で評価可能となる。そして、活性化エネルギーのバイアス依存性から、MIS デバイスのゲート変調効率が得られる。さらに、MIS デバイスの等価回路の DC 極限を考慮して、界面準位密度を見積もることができる。この手法では、主にアドミッタンスの実部の挙動を利用する従来のコンダクタンス法に対して、アドミッタンスの虚部の周波数依存性を利用することで、適用範囲の拡張が可能となっている。

この手法の有効性を実証するため、スパッタリング堆積によるアモルファス AlN ゲート絶縁膜を用いた AlN/AlGaIn/GaN MIS デバイスの評価解析が行われた。優れた性能のデバイスを得るための基本作製プロセス技術を確立した後、MIS デバイスを作製し、 CfT マッピングを用いた評価解析が行われた。その結果、ゲート変調効率および界面準位密度の AlN-AlGaIn 界面形成プロセス依存性が明らかとなり、この手法の有効性が実証されるとともに、これらが MIS トランジスタの線形領域における真性相互コンダクタンスとの相関を有していることも示され、デバイス内電子輸送特性に関する知見が得られた。

本論文で提案され検証された手法は、GaN 系 MIS デバイスにとどまらず、ワイドギャップ MIS デバイス全般に有効なものである。このように、本論文は、ワイドギャップ MIS デバイスの評価解析技術について、重要かつ有益な結果を与えており、学術的および産業的な価値が大きい。よって博士(マテリアルサイエンス)の学位論文として充分価値あるものと認めた。