

深い準位の評価を目的とした過渡容量解析におけるベイズ推定の適用

Application of Bayesian Inference in Capacitance Transient Analysis for Characterization of Deep Levels

京大工¹ ○(B)山中 孝太郎¹, 木本 恒暢¹, 金子 光顕¹

Kyoto Univ.¹, ○Kotaro Yamanaka¹, Tsunenobu Kimoto¹, Mitsuaki Kaneko¹

E-mail: yamanaka@semicon.kuee.kyoto-u.ac.jp

■背景・目的 半導体中の深い準位は、キャリアの捕獲中心として働き、半導体物性・デバイス特性を変化させる。したがって、深い準位の密度などを正確に決定することは極めて重要であり、その評価手法として Deep Level Transient Spectroscopy (DLTS) が広く利用されてきた。これは、対象となる深い準位に意図的にキャリアを捕獲させ、熱的な放出過程による接合容量の過渡変化を解析する手法である。しかし、従来の DLTS では、半導体中に存在する複数の深い準位のうち、過渡容量変化の時定数が近いものを分離して評価することが困難であった。近い時定数を持つ準位の分離に優れた手法として Laplace DLTS (LDLTS) が知られているが、高い時定数分解能を得るためには高い信号対雑音比 (SN 比) が必要であり [1], 実際に用いるのは必ずしも容易でない。そこで本研究では、近い時定数を持つ準位を分離して評価するために必要な SN 比 (以下、必要最小 SN 比とする。) の低減を目指し、過渡容量解析におけるベイズ推定の適用を提案する。

■LDLTS と提案手法の比較 LDLTS では、測定した過渡容量変化を逆ラプラス変換することによって時定数のスペクトルを得る。しかし、逆ラプラス変換は解を一意に決定することが困難な不良設定問題であり、雑音の影響が顕著である。一方、提案手法では、ガウス雑音を仮定した容量変化測定値モデルを用いてベイズ推定を行い、測定値を再現する時定数の確率分布 (事後分布) を得る。これにより、雑音の影響を考慮しつつ、統計的に適切な解析を行うことができる。

必要最小 SN 比の低減を検証するために、 $\tau_1 = 1\text{ s}$, $\tau_2 = 2\text{ s}$ の 2 つの時定数を含む過渡容量変化を異なる SN 比でシミュレーションし、LDLTS および提案手法を適用した。なお、LDLTS には CONTIN 法 [2] を用いた。図 1 が LDLTS の結果、図 2 が提案手法の結果であり、ピークから得られた時定数を図中に併せて示した。 $\tau = 1, 2\text{ s}$ にピークが現れることが期待されるが、SN 比が 1 のときはいずれの手法でも 1 つのピークしか存在しない。一方、SN 比が 10 および 100 のときは、提案手法 (図 2) のみで 2 つのピークが存在し、得られた時定数もシミュレーションで仮定した時定数とよく一致している。SN 比が 1000 のときは LDLTS (図 1) でも 2 つのピークが存在するが、 $\tau_{1,est}$ については仮定した値と乖離しており、適切な解析ができたとは言いがたい。以上から、この条件では、必要最小 SN 比が約 100 倍改善したといえる。過渡容量変化に 2 つの時定数が含まれる場合について、その時定数比と必要最小 SN 比の関係を図 3 に示す。提案手法は必要最小 SN 比が LDLTS に比べて大幅に小さく、近い時定数を持つ準位の分離評価に有効であるといえる。

[1] L. Dobaczewski et al., *J. Appl. Phys.*, **96**, 4689–4728 (2004).

[2] S. W. Provencher, *Comput. Phys. Commun.*, **27**, 229–242 (1982).

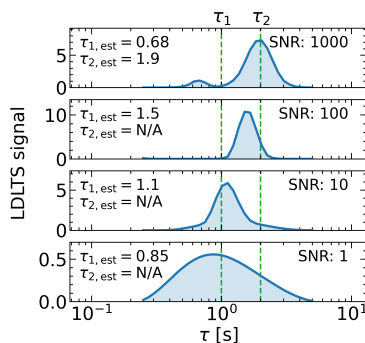


Fig. 1. LDLTS signals calculated using CONTIN algorithm[2] at different signal-to-noise ratio (SNR) values.

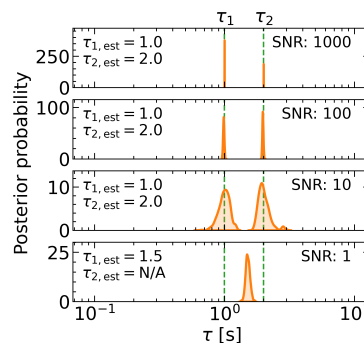


Fig. 2. Posterior probability distributions of time constants obtained with the proposed method at different SNR values.

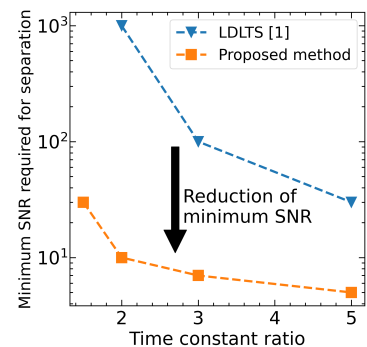


Fig. 3. Comparison of minimum SNR required to separate two time constants between LDLTS and the proposed method.