



*Università degli Studi di Salerno*

Dipartimento di Ingegneria Elettronica e Ingegneria Informatica

Dottorato di Ricerca in Ingegneria dell'Informazione  
IX Ciclo – Nuova Serie

**ABSTRACT DELLA TESI DI DOTTORATO**

# **Characterization, Modeling and Simulation of 4H-SiC Power Diodes**

**CANDIDATO: LOREDANA FREDA ALBANESE**

**TUTOR: PROF. SALVATORE BELLONE**

**COORDINATORE: PROF. ANGELO MARCELLI**

Anno Accademico 2009 – 2010

## Abstract

La tesi è incentrata sullo sviluppo di un modello analitico per diodi di potenza realizzati in Carburo di Silicio (SiC), con l'obiettivo di definire per tali dispositivi un valido strumento d'indagine del loro comportamento, sia in condizioni stazionarie che dinamiche, ed al contempo predire l'impatto che i diversi parametri fisici e tecnologici hanno sul funzionamento complessivo. L'interesse scientifico suscitato da tale materiale negli ultimi decenni è legato alle sue notevoli caratteristiche elettriche, quali ampio bandgap, alta conduttività termica, alta rigidità dielettrica e velocità di saturazione, che lo rendono attrattivo per le applicazioni ad alta temperatura, alta potenza e/o alta tensione. Attualmente, tuttavia, la realizzazione di dispositivi in SiC con determinate prestazioni non è del tutto ovvia, a seguito della mancanza di un'esaustiva conoscenza delle proprietà fisiche del materiale, specialmente di quelle relative al trasporto dei portatori, e delle loro dipendenze dai parametri tecnologici. Pertanto, l'eventuale inclusione del Carburo di Silicio tra i materiali utili per le applicazioni di potenza dipende, oltre che dalla capacità di produrre wafer di buona qualità e a costo contenuto, anche dallo sviluppo di adeguati modelli basati sulla fisica, capaci di contemplare gli aspetti peculiari del materiale e, contemporaneamente, descrivere in modo esaustivo il comportamento dei dispositivi realizzati con esso. Seguendo tale necessità, attraverso un processo di analisi, di simulazione e di caratterizzazione di diodi in 4H-SiC, l'attività di ricerca ha portato alla definizione di un modello analitico completo ed auto consistente, cioè in grado di descriverne il comportamento delle caratteristiche elettriche nelle diverse condizioni di funzionamento, sia statico che dinamico, ed in ampio range di valori di temperatura.

Dopo un'introduzione sulle principali caratteristiche elettriche e fisiche del Carburo di Silicio, presentate con l'obiettivo di mettere in evidenza le sue potenzialità come materiale semiconduttore, la tesi espone un nuovo modello analitico statico che, tramite confronti diretti con simulazioni numeriche e misurazioni sperimentali, si dimostra accurato nel descrivere le curve I-V di diodi con struttura generica, per un ampio range di densità di corrente ( $10^{-7}$ - $10^3$  A/cm<sup>2</sup>) e di temperatura (298-523 K). Il modello, inglobando le principali proprietà del materiale (quali la ionizzazione incompleta, gli effetti del drogaggio sul bandgap, sulla mobilità e sul tempo di vita), permette di

quantificare, in modo del tutto originale, l'influenza che ogni regione esercita sulle caratteristiche di conduzione del diodo. Tale modello, la cui affidabilità è stata testata mediante confronti con simulatori commerciali, è stato successivamente utilizzato all'interno di un nuovo modello dinamico per descrivere le condizioni "on" presenti in un diodo generico quando la sua tensione esterna è fatta variare in modo brusco. Benché quest'ultima analisi sia di notevole interesse per lo studio del comportamento switching delle strutture, il transitorio dei diodi è sfruttato in diverse tecniche di indagini sui materiali per estrarre informazioni sulla vita media dei portatori di carica. Ciò avviene ad esempio nella tecnica *Open Circuit Voltage Decay (OCVD)* in cui è studiato il decadimento della tensione di diodo, a seguito di una brusca interruzione della corrente, per avere una stima del tempo di vita delle cariche minoritarie nello strato epitassiale, il cui valore non appare a tutto oggi facilmente controllabile nel SiC. Se a tale interesse si aggiungono le difficoltà presenti in letteratura nel prolungare al SiC le tecniche applicate con successo al silicio, appare evidente l'importanza ricoperta da tali tecniche per gli avanzamenti dell'impiego del SiC nel campo della microelettronica. Nell'ambito di questa tematica, si è implementato un modello del comportamento dinamico del diodo che, affiancandosi a quello statico, è in grado sia di predire la risposta OCVD di un diodo, con geometria e parametri fisici generici, a partire da una generica condizione di polarizzazione, sia di valutare il decadimento temporale del profilo spaziale delle correnti e dei portatori e nella regione di base del diodo, ad ogni livello d'iniezione. L'accuratezza del modello analitico è stata verificata attraverso simulazioni numeriche e misure sperimentali condotte su diodi in Si e 4H-SiC: l'accordo ottenuto, in particolare, mette in evidenza, oltre che le capacità predittive del modello, anche la validità delle approssimazioni usate ed il superamento di alcune ambiguità attualmente presenti in letteratura, quali l'asserita inapplicabilità del metodo OCVD sugli strati spessi, il motivo del mancato decadimento lineare nel tempo per la tensione, e gli effetti delle proprietà di giunzione sul decadimento di tensione.

Infine, attraverso un'attenta ridefinizione delle condizioni al boundary, la versatilità che contraddistingue il modello rende possibile l'estensione dell'analisi ad un'arbitraria condizione di switching dei diodi in 4H-SiC.