

Progetto di Ricerca

“Studio dell’affidabilità di transistori wide-bandgap per applicazioni ad alte tensioni e modellistica dei materiali di incapsulamento”

L’attività di ricerca proposta è focalizzata sullo studio dell’affidabilità e delle prestazioni di transistori GaN-HEMT e SiC per applicazioni nell’ambito della conversione di potenza in sostituzione dei MOSFET di silicio. Un ruolo fondamentale è giocato dall’integrazione dei dispositivi di potenza con circuiti di elaborazione, estendendo le richieste relative alle prestazioni del modulo complessivo a condizioni operative con alte tensioni, alte correnti ed alte temperature. I nuovi materiali proposti per l’ottimizzazione del dispositivo e per la protezione dei chip richiedono uno studio approfondito delle proprietà termiche ed elettriche degli stessi, oltre che meccaniche, in quanto strettamente correlate con le prestazioni e l’affidabilità del sistema.

Lo sviluppo recente di dispositivi GaN con un nuovo materiale isolante di barriera richiederà lo sviluppo di modelli fisici adeguati alla simulazione numerica. I notevoli vantaggi di prestazione in termini di prodotto $R_{DSon} \cdot Q_{gate}$ basso, dipendenza limitata dalla temperatura della tensione di soglia e della resistenza di canale, la capacità di operare a temperature di giunzione elevate (fino a 200°C), potranno portare a un significativo miglioramento nella conversione di energia, già documentato da alcuni risultati di letteratura. Analogamente, le future generazioni tecnologiche dei dispositivi MOSFET basati su substrati di SiC richiedono alcune strategie di miglioramento delle prestazioni. Per questo motivo nuove metodologie di simulazione numerica sia a livello di dispositivi che circuitale sono necessarie per valutarne accuratamente l’affidabilità. In particolare, i modelli spice di dispositivi SiC-MOSFET planari verranno sviluppati con l’obiettivo di verificare il loro comportamento come switch in applicazioni circuitali di conversione dc-dc e ac-dc. E’ inoltre molto importante studiare il comportamento dei dispositivi quando sottoposti a test di corto-circuito ripetuti, in quanto si sono riscontrate sperimentalmente instabilità della soglia di tensione a diverse energie di corto-circuito riferibili a problemi di degrado da portatori caldi.

Dal punto di vista dell’incapsulamento del dispositivo di potenza, le nuove plastiche possono indurre effetti elettrostatici indesiderati e ridurre anche drasticamente l’affidabilità del dispositivo stesso. Alcuni studi relativi alla conducibilità ionica delle plastiche e al loro breakdown hanno mostrato che gli spostamenti di carica indotti dalle alte tensioni all’interfaccia tra la plastica e gli ossidi di protezione possono causare notevoli riduzioni della tensione di rottura. Questo problema può diventare ancora più rilevante in architetture con dispositivi di potenza innovativi. Dalla caratterizzazione dei materiali plastici si evincerà come modellarli nello strumento TCAD commerciale per tenere conto degli effetti di temperatura, umidità e campo elettrico. A tal fine verranno definite alcune strutture di riferimento di circuiti integrati che prevedano la presenza di un dispositivo di potenza e altri dispositivi a bassa tensione.

Gli obiettivi di queste attività sono inseriti nelle proposte per 2 posizioni di assegno di ricerca come descritto in dettaglio nei seguenti piani formativi.

Piano di Formazione 1

Titolo del Progetto di Ricerca:

“Studio dell’affidabilità di transistori wide-bandgap per applicazioni ad alte tensioni e modellistica dei materiali di incapsulamento- Simulazioni numeriche di dispositivi wide-bandgap e sviluppo dei modelli circuitali”

Tutore: Prof. Susanna Reggiani

Obiettivi formativi:

Formazione di un ricercatore esperto nel settore della simulazione numerica e dell’analisi di dispositivi wide-bandgap per applicazioni di potenza. In aggiunta a ciò, l’assegnista maturerà una significativa esperienza nelle metodologie di sviluppo di modelli fisici e nella caratterizzazione dei dispositivi di potenza. L’obiettivo principale di queste attività sarà quello di determinare e confrontare la stabilità delle prestazioni e l’affidabilità di dispositivi GaN-HEMTe/o SiC innovativi.

Programma dell’attività di formazione:

L’attività formativa relativa agli obiettivi di cui sopra sarà sviluppata come segue:

1. Acquisizione di esperienza nella simulazione di dispositivi di potenza ed analisi delle più promettenti architetture dello stato dell’arte.
2. Sviluppo dei set-up di simulazione più appropriati per l’analisi fisica e la caratterizzazione dei dispositivi studiati nel progetto.
3. Studio della letteratura riguardante i materiali più promettenti per i dispositivi di potenza ad alte tensioni.
4. Sviluppo di modelli per lo studio delle proprietà di trasporto in presenza di accumulo di cariche alle interfacce tra gli ossidi di protezione.
5. Identificazione delle carenze nei modelli fisici già esistenti negli strumenti TCAD a disposizione ed eventuale sviluppo di nuovi modelli.
6. Nel corso dell’attività l’assegnista terrà mensilmente seminari volti alla presentazione dei risultati intermedi ottenuti durante lo sviluppo della ricerca. È previsto infine un seminario conclusivo mirato alla presentazione dei risultati finali ed alla discussione dei possibili sviluppi dell’attività relativa al tema di ricerca affrontato.

I programmi di simulazione da sviluppare saranno l’evoluzione di preesistenti programmi già sviluppati per simili applicazioni da ricercatori del Centro. Tale attività è inserita in tre progetti di ricerca europei: REACTION, TRANSFORM e GaN4AP. All’interno di questi progetti, l’attività da svolgersi presso ARCES riguarda la modellistica fisica di detti transistori, utilizzando programmi di simulazione TCAD commerciali, che dovranno essere adattati per consentire la modellazione dei materiali non convenzionali oggetto di questo studio e dei loro difetti (trappole, mobilità, ecc.), anche sulla base dei riscontri di tipo sperimentale.

Piano di Formazione 2

Titolo del Progetto di Ricerca:

“Studio dell’affidabilità di transistori wide-bandgap per applicazioni ad alte tensioni e modellistica dei materiali di incapsulamento- Caratterizzazione sperimentale e sviluppo di modelli fisici del trasporto di carica in materiali plastici”

Obiettivi formativi:

Formazione di un ricercatore esperto nel settore della simulazione numerica e dell’analisi di dispositivi avanzati per applicazioni di potenza. In aggiunta a ciò, l’assegnista maturerà una significativa esperienza nelle metodologie di sviluppo di modelli fisici e nella caratterizzazione dei materiali che costituiscono la struttura di protezione superficiale per il packaging.

Programma dell’attività di formazione:

L’attività formativa relativa agli obiettivi di cui sopra sarà sviluppata come segue:

1. Acquisizione di esperienza nella simulazione di dispositivi di potenza ed analisi delle più promettenti architetture dello stato dell’arte.
2. Studio della letteratura riguardante i materiali più promettenti per il packaging dei dispositivi di potenza ad alte tensioni, alte temperature e/o umidità.
3. Sviluppo dei set-up di simulazione più appropriati per l’analisi fisica e la caratterizzazione dei materiali plastici studiati nel progetto.
4. Identificazione delle carenze nei modelli fisici già esistenti negli strumenti TCAD a disposizione ed eventuale sviluppo di nuovi modelli.
5. Sviluppo di modelli per lo studio delle proprietà di trasporto in presenza di accumulo di cariche ioniche alle interfacce tra gli ossidi di protezione ed i materiali utilizzati per il packaging.
6. Nel corso dell’attività l’assegnista terrà mensilmente seminari volti alla presentazione dei risultati intermedi ottenuti durante lo sviluppo della ricerca. L’assegnista collaborerà all’attività di ricerca nell’ambito dei progetti REACTION, TRANSFORM e GaN4AP partecipando alla esecuzione del lavoro tecnico, alla stesura dei rapporti tecnici che descrivono lo stato di avanzamento del progetto e alla proposta e stesura di articoli per possibili pubblicazioni su riviste scientifiche internazionali.

I programmi di simulazione da sviluppare saranno l’evoluzione di preesistenti programmi già sviluppati per simili applicazioni da ricercatori del Centro. Tale attività è inserita in tre progetti di ricerca europei: REACTION, TRANSFORM e GaN4AP. All’interno di questi progetti, l’attività da svolgersi presso ARCES riguarda la modellistica fisica delle plastiche usate per il packaging utilizzando programmi di simulazione TCAD commerciali, che dovranno essere adattati per consentire la modellazione di materiali non convenzionali oggetto di questo studio e dei loro difetti (trappole, cariche fisse, mobilità, ecc.), anche sulla base dei riscontri di tipo sperimentale.