



Maurizio
Di Paolo Emilio

Nelle applicazioni di potenza innovative come i veicoli elettrici, la produzione di energie rinnovabili, la comunicazione tra veicoli e l'accumulo di energia, i transistor di potenza bidirezionali si dimostrano particolarmente utili. Questi switch consentono un controllo efficiente del flusso di energia in entrambe le direzioni, garantendo un funzionamento affidabile e sicuro nelle diverse condizioni operative. Gli switch monolitici bidirezionali basati su questa tecnologia raggiungono un'elevata efficienza di conversione della potenza e sono sempre più riconosciuti come uno standard industriale per le applicazioni di elettronica di potenza. Questo articolo, basato sulla presentazione "Bidirectional SiC and GaN Technology" tenuta da Victor Veliadis al PowerUp Expo 2023 ⁽¹⁾, esplorerà le sfide e le soluzioni tecniche che consentono ai transistor di potenza al carburo di silicio (SiC) e al nitruro di gallio (GaN) di implementare applicazioni di potenza bidirezionali.

ABSTRACT

⁽¹⁾ Dr. Victor Veliadis, "Bidirectional SiC and GaN Switch Technology." PowerUp, June 27, 2023.



Utilizzo di SiC e GaN nelle applicazioni di potenza bidirezionali

Flusso di energia bidirezionale

Nel mercato dei dispositivi di potenza, attualmente dominato dai dispositivi al silicio, GaN e SiC stanno gradualmente aumentando la propria quota di mercato. Victor Veliadis, direttore esecutivo e CTO di Power America, afferma: "I mercati dei dispositivi di potenza sia GaN che SiC stanno crescendo molto rapidamente, e si prevede che la combinazione di SiC e GaN raggiungerà circa il 50% del mercato complessivo dei dispositivi di potenza entro il 2029, mentre il silicio deterrà il restante 50%".

Di seguito vedremo come i semiconduttori wide bandgap possono essere impiegati

con successo nelle applicazioni di potenza bidirezionali. Il flusso bidirezionale consente diverse applicazioni, tra cui:

- Veicoli elettrici (grid-to-vehicle G2V, vehicle-to-grid V2G, vehicle-to-home V2H, and vehicle-to-vehicle V2V)
- Sistemi di alimentazione distribuiti e grid-tie che utilizzano energia rigenerata e/o componenti di accumulo energetico
- Servizi di rete per data center (regolazione della frequenza, gestione della domanda, spostamento dei picchi) con UPS bidirezionale
- Protezione degli interruttori a stato solido
- Convertitori DC-DC bidirezionali



Gli interruttori pGaN oggi disponibili sul mercato sono tutti dispositivi della generazione che consistono nel realizzare la separazione gate-drain uguale alla separazione source-gate

- Carica e scarica dei sistemi di accumulo di energia
- Energia rigenerativa (freni, ascensori, nastri trasportatori)

Configurazioni laterali e verticali

Al di sopra dei 900 V, i dispositivi ad alta potenza hanno tipicamente una configurazione verticale. Gli interruttori GaN oggi disponibili sul mercato sono tutti dispositivi laterali e la loro tensione di breakdown è determinata dalla separazione tra gli elettrodi di drain e di gate. Come mostrato nella figura 1(a), maggiore è la separazione, maggiore è la tensione che il dispositivo può bloccare.

“Questo limita anche il livello di alta tensione che si può raggiungere con i dispositivi GaN laterali. A un certo punto, la separazione tra gate e drain per gestire

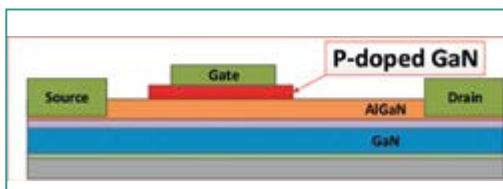


Figura 2: Uno strato di GaN a drogaggio P sotto il gate lo rende un dispositivo normalmente off. (Fonte: 1)

tensioni molto elevate diventa eccessiva e il dispositivo inizia a occupare troppo spazio sul wafer, riducendo la resa”, ha affermato Veliadis.

I dispositivi di potenza SiC, disponibili come prodotti commerciali o come dimostrazione, hanno una configurazione verticale. Sono il drogaggio e lo spessore dello strato di deriva verticale a determinare la tensione di breakdown del dispositivo. Un dispositivo da 600 V ha uno strato di deriva spesso circa 4 μm; aumentando lo spessore a 100 μm, si può ottenere un dispositivo da 12 KV (Figura 1(b)). Questo è un grande vantaggio quando si realizzano dispositivi ad alta tensione, perché l’area corrispondente del dispositivo non aumenta.

Di default, i dispositivi di potenza GaN sono normalmente on. Per alcune applicazioni, tuttavia, i dispositivi normalmente off sono preferibili per ottenere condizioni di funzionamento a prova di errore. Come illustrato nella figura 2, un approccio comune per ottenere un dispositivo GaN normalmente off consiste nell’inserire uno strato di GaN drogato P sotto il gate. È molto importante che la fabbricazione di dispositivi GaN laterali sia compatibile con la produzione di volumi di silicio.

Come realizzare transistor GaN bidirezionali

“Per quanto riguarda il flusso di corrente, i dispositivi laterali GaN sono intrinsecamente bidirezionali. Sia che la corrente vada dal source al drain o dal drain al source, non c’è alcuna differenza perché

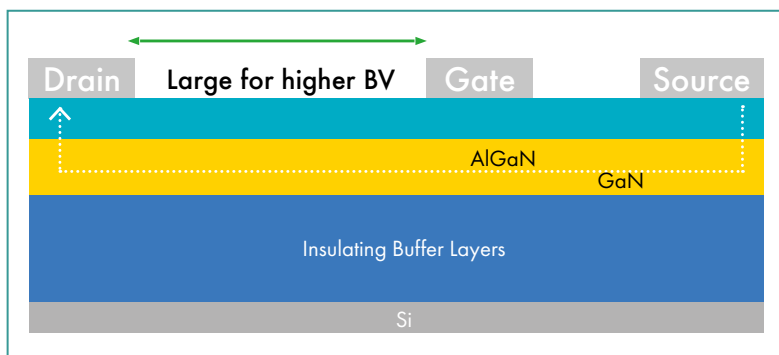


Figura 1: (a) Struttura dei dispositivi laterali (Fonte: 1)

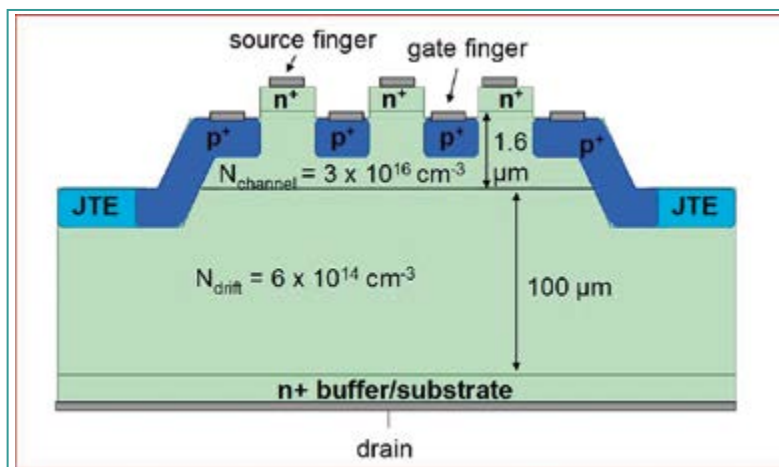


Figura 1: (b) Dispositivo con configurazione verticale (Fonte: 1)

non esiste alcun diodo body. Tuttavia, il blocco della tensione di questa configurazione è unidirezionale, perché è determinato dalla separazione *gate-drain*”, afferma Veliadis.

Un modo per rendere i dispositivi bidirezionali nel blocco della tensione consiste nel realizzare la separazione *gate-drain* uguale alla separazione *source-gate*. In questo modo, sia che l’alta tensione provenga dal *source* che dal *drain*, è possibile mantenere la stessa tensione da entrambi i lati perché le separazioni *source-gate* e *gate-drain* sono uguali. Lo svantaggio è che il passo delle celle del dispositivo viene aumentato.

Un modo interessante per risolvere questo problema, mantenendo al contempo il passo della cella al minimo, è la struttura a doppio gate mostrata in figura 3. Quando una tensione elevata arriva alla sorgente due, viene utilizzato il *gate* uno e la regione di *drain* comune blocca l’alta tensione mantenendo la distanza tra sorgente e *gate* ridotta. Allo stesso modo, se l’alta tensione arriva alla sorgente uno, il *gate* due controllerà il dispositivo.

“Lo switch bidirezionale a doppio gate sfrutta la regione di *drain* comune per

mantenere il passo di cella del dispositivo il più piccolo possibile”, ha dichiarato Veliadis. Questo concetto è stato dimostrato da Panasonic con uno switch GaN monolitico bidirezionale a doppio *gate* normalmente spento, che ha raggiunto una conduzione simmetrica di 100 A e una tensione di blocco di 1100 V.

Come realizzare transistor SiC bidirezionali

I transistor di potenza SiC, siano essi MOSFET planari, MOSFET trench o JFET, hanno principalmente una configurazione verticale e un diodo interno che crea le condizioni per un flusso di corrente bidirezionale simmetrico. Anche se il flusso bidirezionale simmetrico è possibile, quando si tratta di tensione bidirezionale, il blocco del dispositivo verticale diventa un problema.

Una possibile soluzione consiste nel collegare due dispositivi back-to-back nella configurazione common-source, come mostrato nella figura 4(a). Questa configurazione consente di controllare il blocco e la conduzione bidirezionale con un singolo *gate drive*. In alternativa, è possibile collegare i dispositivi in configu-



Un modo per rendere i dispositivi bidirezionali nel blocco della tensione consiste nel realizzare la separazione *gate-drain* uguale alla separazione *source-gate*

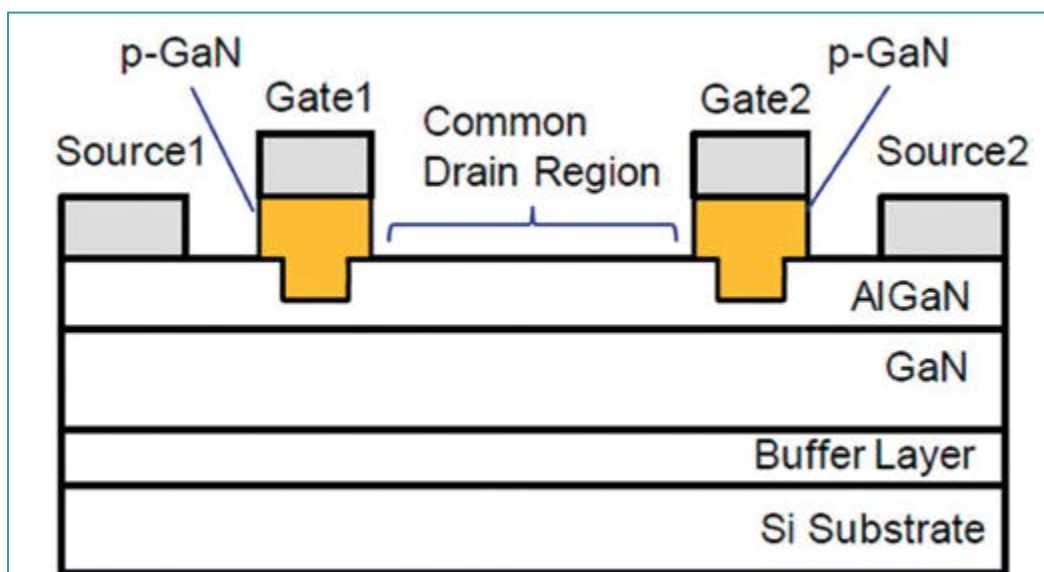


Figura 3: Struttura di un interruttore monolitico bidirezionale a doppio gate (Fonte: 1)

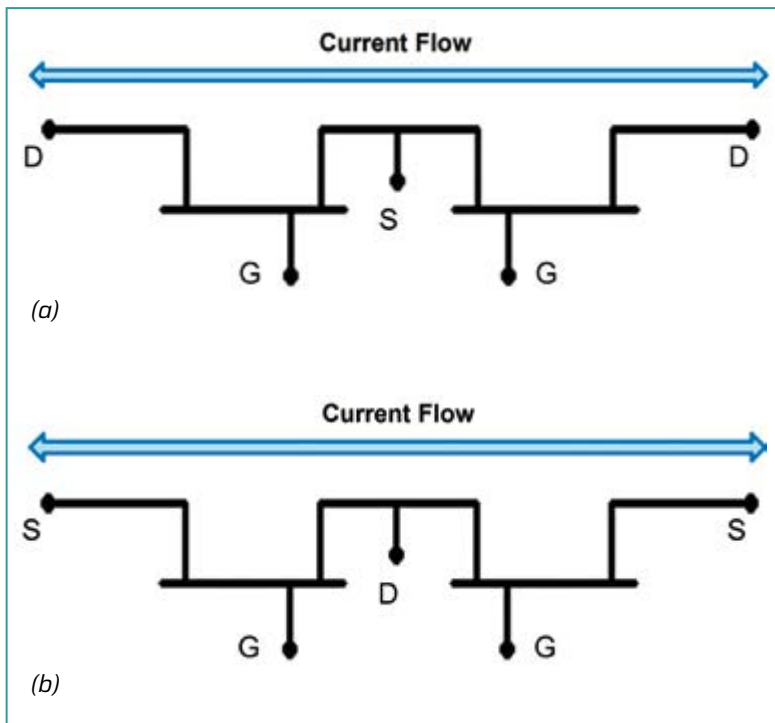


Figura 4: Configurazioni back-to-back common-source (a) e common-drain (b). (Fonte: 1)

“ I condensatori tendono a essere piuttosto fragili e limitati in temperatura

razione *common-drain*, come mostrato nella figura 4(b). In questo caso, sono necessari due *gate drive* separati. È possibile avere un singolo dispositivo con uno strato di deriva comune.

“Una configurazione con sorgente comune può essere realizzata in modo monolitico, ovvero entrambi i chip sono collegati back-to-back sullo stesso wafer. Questa soluzione semplifica il package e aiuta a ridurre alcune induttanze che sono critiche nei dispositivi *wide bandgap*”, ha dichiarato Veliadis. Un altro approccio consiste nel collegare due MOSFET SiC in configurazione *common-drain*, ottenendo un interruttore a 4 terminali con due *gate* diversi che controllano il flusso di corrente.

Applicazioni dell’inverter a sorgente comune

La topologia *Voltage-Source-Inverter* (VSI), visibile in figura 5, è costruita con switch al silicio convenzionali (MOSFET, IGBT e diodi) ma presenta alcune limitazioni. I condensatori tendono a essere piuttosto fragili e limitati in temperatura. Inoltre, l’elevata *dV/dt* crea una sollecitazione dell’isolamento del motore, che si traduce in un modo comune nel rumore EMI.

La configurazione a sorgente comune (CSI) utilizza un induttore, un componente molto robusto che può tollerare temperature elevate.

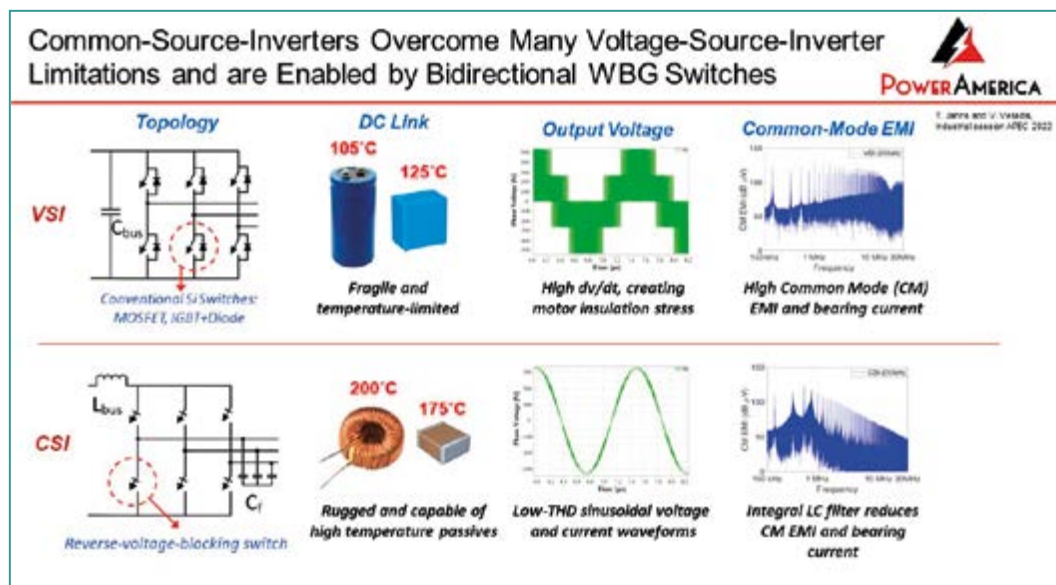


Figura 5: Confronto tra le topologie CSI e VSI (Fonte: 1)



La *figura 5* mostra che la configurazione CSI raggiunge una distorsione armonica molto bassa, riducendo l'EMI di modo comune e la corrente dei cuscinetti.

Gli switch monolitici bidirezionali wide bandgap consentono agli inverter common-source di superare i limiti della topologia VSI e di ridurre il numero di componenti richiesti, poiché i diodi utilizzati nella topologia VSI non sono più necessari. Ciò comporta anche una riduzione delle perdite di conduzione e

una maggiore efficienza e densità di potenza. *“Se sono disponibili switch monolitici bidirezionali, è possibile bloccare il flusso di corrente in modo bidirezionale. Non sono più necessari i diodi e si ottiene un unico dispositivo che blocca e conduce la corrente in entrambe le direzioni. Pertanto, gli switch monolitici bidirezionali wide bandgap possono favorire l'accettazione della topologia CSI da portare del mercato, portandovi i suoi benefici”*, ha affermato Veliadis.



La configurazione a sorgente comune (CSI) utilizza un induttore, un componente molto robusto che può tollerare temperature elevate