

## Dispositivi di potenza GaN economicamente fattibili garantiscono un sensibile incremento di efficienza

**Michael A. Briere**  
ACOO Enterprises LLC

*Ulteriori miglioramenti nelle prestazioni dei dispositivi di potenza possono essere ragionevolmente ottenuti solo tramite l'impiego di materiali diversi dal silicio*

**M**igliorare le prestazioni dei dispositivi per la conversione della potenza mantenendo al contempo i costi sotto controllo è fondamentale per le aziende che operano nel settore dell'elettronica di potenza. Considerando il numero sempre crescente di dispositivi elettronici in uso e l'energia richiesta per alimentarli, aumentare in modo consistente l'efficienza dei dispositivi e dei sistemi di potenza è fondamentale se si desidera evitare dannose conseguenze ambientali.

Negli ultimi tre decenni, gli ingenti investimenti tecnologici hanno contribuito a migliorare le prestazioni dei dispositivi di potenza al silicio di oltre un ordine di grandezza. Tuttavia, man mano che questa tecnologia giunge a maturazione, diventa sempre più costoso ottenere miglioramenti, anche di modesta entità, in termini di prestazioni e di efficienza del dispositivo. Si stima che il fattore di miglioramento ottenibile - e contemporaneamente sostenibile dal punto di vista economico - sia inferiore a 2 nei dispositivi FET a 30 V e potrebbe salire a 5 nei dispositivi IGBT al silicio da 600 a 1200 V. Appare quindi chia-



**Fig. 1 - Vista dall'alto di un dispositivo flip-chip GaNpowIR**

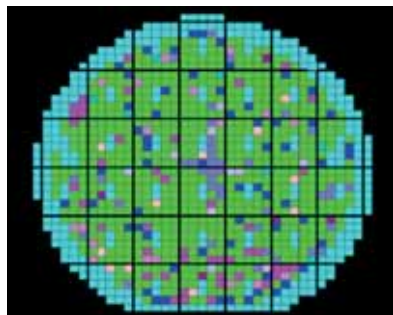
ro che ulteriori miglioramenti nelle prestazioni dei dispositivi di potenza possono essere ragionevolmente ottenuti solo tramite l'impiego di materiali diversi dal silicio. Una delle migliori alternative al silicio è rappresentata dal nitruro di gallio (GaN).

Anche se il più semplice transistor GaN ad alta mobilità elettronica (High Electron Mobility Transistor, HEMT) fu inventato circa 20 anni fa, il lavoro maggiore nello sviluppo di dispositivi di potenza reali che utilizzano la tecnologia del nitruro di gallio su silicio (GaN-on-Si) è stato fatto solo negli ultimi 5-7 anni. Le prestazioni e la disponibilità dei dispositivi di potenza al nitruro di gallio tenderanno ad aumentare rapidamente nei prossimi 10-20 anni mentre un miglioramento - accettabile dal punto di vista commerciale - delle caratteristiche principali del dispositivo si potrà ottenere entro i prossimi 5 anni.

### Considerazioni di tipo economico

I costi di produzione rappresentano il principale ostacolo alla commercializzazione dei dispositivi di potenza al nitruro di gallio. Essi comprendono il costo del substrato e degli strati epitassiali, i costi di fabbricazione e incapsulamento del dispositivo, oltre ai costi per il supporto tecnico e lo sviluppo.

Dopo quelli relativi al substrato e agli strati epitassiali, i costi maggiori sono



**Fig. 2 - Mappa della resa produttiva dei wafer nei processi di fabbricazione di dispositivi GaNpowIR con die da 15 mm<sup>2</sup> (verde = buon die)**

quelli imputabili alla fabbricazione del dispositivo. Per quanto riguarda la fattibilità economica, occorre che i substrati abbiano un diametro di almeno 150 mm e che la lavorazione avvenga all'interno di linee a resa elevata che utilizzano processi per semiconduttori standard (compatibili con il silicio). Inoltre, il volume di produzione necessario a sostenere il mercato dei dispositivi di potenza – al momento corrispondente a circa 10 milioni di wafer da 150 mm all'anno – richiede la scalabilità dei processi di fabbricazione, caratteristica che viene garantita in tempi brevi dai moderni stabilimenti per la produzione di dispositivi di silicio.

Partendo da questi presupposti, International Rectifier ha sviluppato la propria piattaforma per la tecnologia GaNpowIR utilizzando l'eteroepitassia GaN-Si (nitruro di gallio su substrato di silicio) e adottando un metodo di fabbricazione dei dispositivi che può essere effettuato all'interno delle attuali linee di produzione di componenti CMOS al silicio, con modifiche minime alle apparecchiature o ai processi utilizzati. I primi

prodotti GaNpowIR saranno dei moduli di potenza DC-DC a bassa tensione (30 V).

Sebbene i dispositivi HEMT a bassa tensione in GaN non offrano grandi vantaggi in termini di resistenza di conduzione specifica, è importante notare che il prodotto  $R_{on} \cdot Q_{sw}$  è il fattore critico per molte applicazioni in bassa tensione. In questo senso, si prevede che i circuiti HEMT in GaN garantiranno, entro i prossimi cinque anni, un miglioramento di oltre un ordine di grandezza rispetto ai migliori dispositivi al silicio più avanzati. Ciò corrisponde ad avere un prodotto  $R_{on} \cdot Q_g$  inferiore a 4 miliohm $\cdot$ nC a fronte di una cifra di merito dei moderni dispositivi al silicio pari a circa 45 miliohm $\cdot$ nC.

## Problematiche relative al processo

Uno dei principali problemi nella commercializzazione dei dispositivi di potenza in GaN è lo sviluppo di processi epitassiali di nitruro di diamantoidi o nitruro-III (nitruro di elementi del gruppo IIIA) – economicamente convenienti, con alti volumi di produzione e rese elevate – su wafer al silicio di grande diametro. Sebbene il silicio sia senza dubbio il substrato da preferire nei dispositivi commerciali di potenza in GaN, il disadattamento intrinseco degli strati epitassiali di nitruro – sia nella costante reticolare sia nel coefficiente termico di espansione – provoca dislocazioni strutturali e sforzi macroscopici significativi negli strati che si traducono in un eccessivo inarcamento del wafer e in una deformazione plastica (incrinature) degli strati stessi. International Rectifier ha affrontato con successo queste problematiche applicando il proprio processo di cre-

## Guardare al futuro Pensando al presente



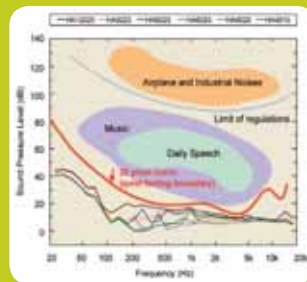
**Tutta la nostra esperienza  
a Vostra disposizione.  
Sempre.**



# SUNON

## VENTILATORI SUPER SILENCE

Sunon, azienda leader mondiale per le soluzioni di raffreddamento, annuncia l'uscita dei ventilatori SUPER SILENCE. La serie HA è stata sviluppata e costruita per migliorare la qualità sonora utilizzando l'analisi multidimensionale della rumorosità. La tecnologia Micro-Motor ha permesso di creare una maggiore superficie delle pale, quindi diminuendo la velocità di rotazione il ventilatore funziona silenziosamente mantenendo una buona efficienza di raffreddamento. Questi ventilatori trovano applicazione in: illuminotecnica, medicale, elettrodomestici e molte altre. Sono fornibili in size 40x40, 60x60, 80x80 e 92x92, tutti con tensione 12VDC e dotati di tecnologia MagLev.



# SGE - SYSCOM

Componenti per Elettronica Industriale Automazione e Telecomunicazioni

Via M. Gran Sasso, 35 I-20092 Cinisello Balsamo (MI)  
T. +39 02 617 90.1 F. +39 02 611 199 info@sge-syscom.com  
[www.sge-syscom.com](http://www.sge-syscom.com)



Sede di Milano



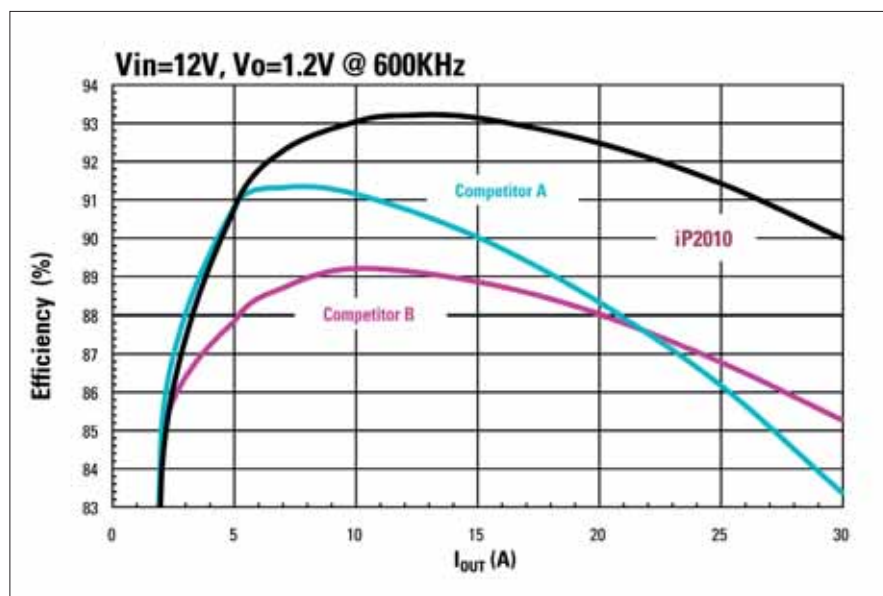
Partnership & Qualità

[readerservice.it](mailto:readerservice.it) n.25726

scita dello strato epitassiale ai wafer al silicio da 150 mm di spessore standard, eliminando gran parte delle dislocazioni strutturali e compensando le tensioni meccaniche dovute ai fenomeni di disadattamento di tipo termico. Il risultato è uno strato uniforme di elevata qualità, senza incrinature a una distanza di 0,5 mm dal bordo del wafer e con un inarcamento del wafer inferiore a 20  $\mu\text{m}$ .

Ad oggi, la maggior parte dei dispositivi GaN utilizzano al loro interno gate di tipo Schottky e quindi in fase di funzionamento manifestano correnti di perdita dell'ordine dei mA per ogni mm di larghezza del gate. Per un dispositivo di potenza, ciò darebbe origine a perdite di potenza e a un surriscaldamento che sarebbero inaccettabili. Un discorso simile vale per la massima tensione di lavoro, spesso fissata in corrispondenza di una densità di corrente di polarizzazione inversa nella giunzione source-drain dell'ordine dei mA per ogni mm di larghezza del gate. Un'altro problema è, pertanto, la riduzione di queste correnti di perdita a un valore inferiore a 1  $\mu\text{A}/\text{mm}$ . Ciò si ottiene grazie all'uso combinato di un gate isolato proprietario con uno strato epitassiale di nitruro-III di più alta qualità, riducendo le perdite di gate e della giunzione drain-source al di sotto di 10 pA/mm. Il rapporto  $I_{\text{on}}/I_{\text{off}}$  che ne risulta – dell'ordine di  $10^{12}$  – è sostanzialmente il migliore tra tutti i risultati che si possono trovare in letteratura per quanto riguarda i dispositivi al nitruro di gallio e in questo senso supera persino quello degli analoghi dispositivi di potenza al silicio.

Anche se sembra che i principali problemi che emergono nello sviluppo di dispositivi GaN-on-Si ad alta tensione e a elevate prestazioni possano essere in un certo senso risolti, esistono difficoltà sostanziali nel produrre dispositivi a bassa tensione con prestazioni superiori a quelle dei dispositivi al silicio.



**Fig. 3 - Misura dell'efficienza di conversione della potenza per il prototipo GaNpowIR, iP2010, un modulo di potenza con convertitore POL da 12 V<sub>in</sub> a 1,2 V<sub>out</sub> e operante a 600 kHz, messo a confronto con due alternative al silicio**

Uno di questi problemi è la riduzione e il controllo della resistenza di contatto source-drain. Sebbene questa componente della  $R_{\text{dson}}$  di un dispositivo ad alta tensione è trascurabile, può essere significativa in componenti che operano con tensioni inferiori a 100 V. In effetti, per garantire la competitività, la resistenza di contatto nei dispositivi a bassa tensione deve essere prossima a 1  $\text{m}\Omega\cdot\text{cm}^2$  o inferiore a 0,35  $\text{m}\Omega\cdot\text{mm}$ . Ciò è stato ottenuto con efficienza di costi e in grosse quantità grazie alla piattaforma IR GaNpowIR e senza l'uso di processi metallurgici basati sull'utilizzo di oro. Un altro problema nella realizzazione di dispositivi GaN a bassa tensione che risultino fattibili dal punto di vista economico, è la conduzione efficace della corrente di source-drain dai contatti interni ai contatti esterni del dispositivo. Ciò è stato risolto con una metallizzazione planare multistrato, comune nella fabbricazione di dispositivi ULSI al silicio. Inoltre, l'impiego di una tecnica metallurgica proprietaria, la SFM (Solderable Front Metallurgy), consente di produrre un die di tipo flip-chip in grado di elimina-

re la necessità del wire-bonding e di ridurre al minimo gli altri fenomeni parassiti del contenitore. La figura 1 mostra questo dispositivo di potenza flip-chip in GaN.

La resa produttiva di un dispositivo è importante nella commercializzazione di dispositivi di potenza di grande superficie. A differenza dei dispositivi a radiofrequenza, in cui la superficie attiva è inferiore a 1  $\text{mm}^2$ , i dispositivi di potenza hanno spesso superfici attive superiori a 10  $\text{mm}^2$ . Per ragioni di fattibilità commerciale, con questi tipi di dispositivi di elevata larghezza, è essenziale ottenere una resa tipica che sia superiore all'80%. La figura 2 mostra la resa produttiva dei wafer per dispositivi



da 15 mm<sup>2</sup>, e dà un'idea della maturità che il processo deve raggiungere affinché la commercializzazione possa avere luogo. È interessante notare che buona parte della perdita residua nella resa produttiva non è attribuibile alle proprietà degli strati epitassiali di nitruro-III. Senza dimenticare che la stabilità delle prestazioni circuitali del dispositivo è chiaramente un prerequisito per la commercializzazione. Nel caso della tecnologia GaNpowIR di IR, la stabilità di questo fattore critico è eccellente in condizioni accelerate per oltre 4000 ore. In effetti, test di affidabilità di oltre 1.000.000 di ore hanno dimostrato che le prestazioni sono analoghe alle specifiche dei dispositivi al silicio. I test comprendevano stress sul gate, stress di polarizzazione inversa, prove a corrente costante (pari a 2 volte il valore nominale), prove di temperatura, umidità e polarizzazione, prove di incapsulamento per MSL e prove cicliche di temperatura, test ad alta temperatura e di intermittenza sulla vita operativa del dispositivo.

### Il primo prodotto

Per sfruttare al meglio le potenzialità dei dispositivi di potenza in GaN, occorre sviluppare funzioni complementari come circuiti di pilotaggio (driver) ad alta velocità, controllori PWM che supportino bassi duty-cycle e mettere a punto tecniche di incapsulamento con bassi fenomeni parassiti. Ad esempio, i

tempi di transizione (e i tempi morti) dell'ordine di 1 ns rendono necessario una gestione intelligente e rapida dei tempi morti dei driver al fine di ottenere le prestazioni ottimali raggiungibili con i dispositivi di potenza in GaN.

Il primo prodotto entrato in produzione sulla piattaforma tecnologica IR GaNpowIR è uno stadio di potenza con convertitore buck da 30 A e 12 V. Esso combina i circuiti di controllo e gli switch di raddrizzamento sincrono insieme a un circuito "intelligente" per il pilotaggio del gate in un contenitore LGA con bassi effetti parassiti. La figura 3 riporta il grafico relativo alla misura dell'efficienza di conversione di potenza per questo dispositivo GaN di prima generazione facendo un confronto con due analoghe soluzioni al silicio.

I dispositivi di potenza al nitruro di gallio presentano un'efficienza di conversione migliore del 3% rispetto ai FET al silicio. Inoltre, raggiungendo questa elevata efficienza a 600 kHz, i sistemi di potenza in GaN permettono di utilizzare solo condensatori ceramici nel convertitore di potenza, aumentando l'affidabilità generale del sistema.

Ulteriori miglioramenti nei dispositivi di potenza di bassa tensione GaN consentono di ottenere a 5 MHz una conversione di potenza a singolo stadio nel range compreso tra l'85 e il 90%, il che elimina il ricorso a numerosi componenti per il filtraggio dell'uscita, oltre ad

abbattere i costi in modo significativo, riducendo al contempo le dimensioni del convertitore di un fattore superiore a dieci. Punto forse ancora più importante, il funzionamento ad alta frequenza consente un preciso adattamento dello stadio di conversione con il carico elettronico. Ciò elimina una quantità significativa di perdite di potenza parassite nel filtro di uscita e nel circuito stampato o nel contenitore. Il miglioramento, che si manifesta sotto forma di una maggiore densità di conversione della potenza, nell'aumento dell'efficienza e nella riduzione dei costi rappresenta il vero valore aggiunto dello sviluppo dei dispositivi di potenza al nitruro di gallio in applicazioni a bassa tensione. La tecnologia GaN rappresenta quindi una piattaforma economicamente valida per circuiti integrati di potenza reali ad alta efficienza e offre le prestazioni migliori nella categoria. Essa consente di realizzare soluzioni system-on-chip per dispositivi come convertitori AC/DC e DC/DC e per inverter monolitici di elevata potenza in applicazioni come l'azionamento di motori e sistemi di distribuzione dell'energia elettrica.

**ACOO Enterprises LLC**  
**acompanyofone@aol.com**

**readerservice@fieramilanoeditore.it**  
**International Rectifier** **n.1**

## Specialisti nei PCB prototipi e piccole serie

**EURO**  
**CIRCUITS**

PCB proto	Il miglior prezzo per prototipi a 2 e 4 layers
STANDARD pool	ampia scelta 1-8 layers
<b>Nuovo</b> TECH pool	tecnologia a 100µm
<b>Nuovo</b> IMS pool	PCB in alluminio
On demand	Tutte le opzioni fino a 16 layers

Chiamateci al +39 02 89 75 24 40 email: [euro@eurocircuits.com](mailto:euro@eurocircuits.com)  
Nuovo sito - Nuovi servizi

### TUTTI I SERVIZI

- Calcolo prezzi istantaneo
- Inserimento ordini istantaneo
- Prezzi pooling convenienti
- Nessun costo di attrezzatura
- Consegna da 2gg lavorativi
- Servizio Lamine

**[www.eurocircuits.it](http://www.eurocircuits.it)**