

Tranzystory CoolMOS

Przełamać ograniczenia krzemu

Głównymi elementami w większości nowoczesnych zasilaczy impulsowych czy sterowników napędów są tranzystory przełączające. Tranzystory z serii CoolMOS firmy Infineon są zaprojektowane do pracy w trudnych warunkach występujących w takich urządzeniach. Ich budowa przełamuje ograniczenia narzucane przez tradycyjną technologię produkcji tranzystorów mocy MOSFET oraz materiału półprzewodnikowego, jakim jest krzem.

Tranzystory CoolMOS zbudowano na bazie tzw. super-złącza (ang. *super-junction*, SJ), które stało się technologią o rewolucyjnym znaczeniu dla produkcji MOSFET'ów mocy. Pozwala ona na wyprodukowanie tranzystorów MOS o bardzo niskiej rezystancji kanału, które mogą pracować przy wysokim napięciu U_{DS} . Infineon był pierwszą firmą na świecie, która wprowadziła tę technologię do wyrobów komercyjnych.

Ograniczenia teoretyczne rezystancji krzemu zostały sformułowane przez Chena i Hu pod koniec lat 80-tych. Przy trady-

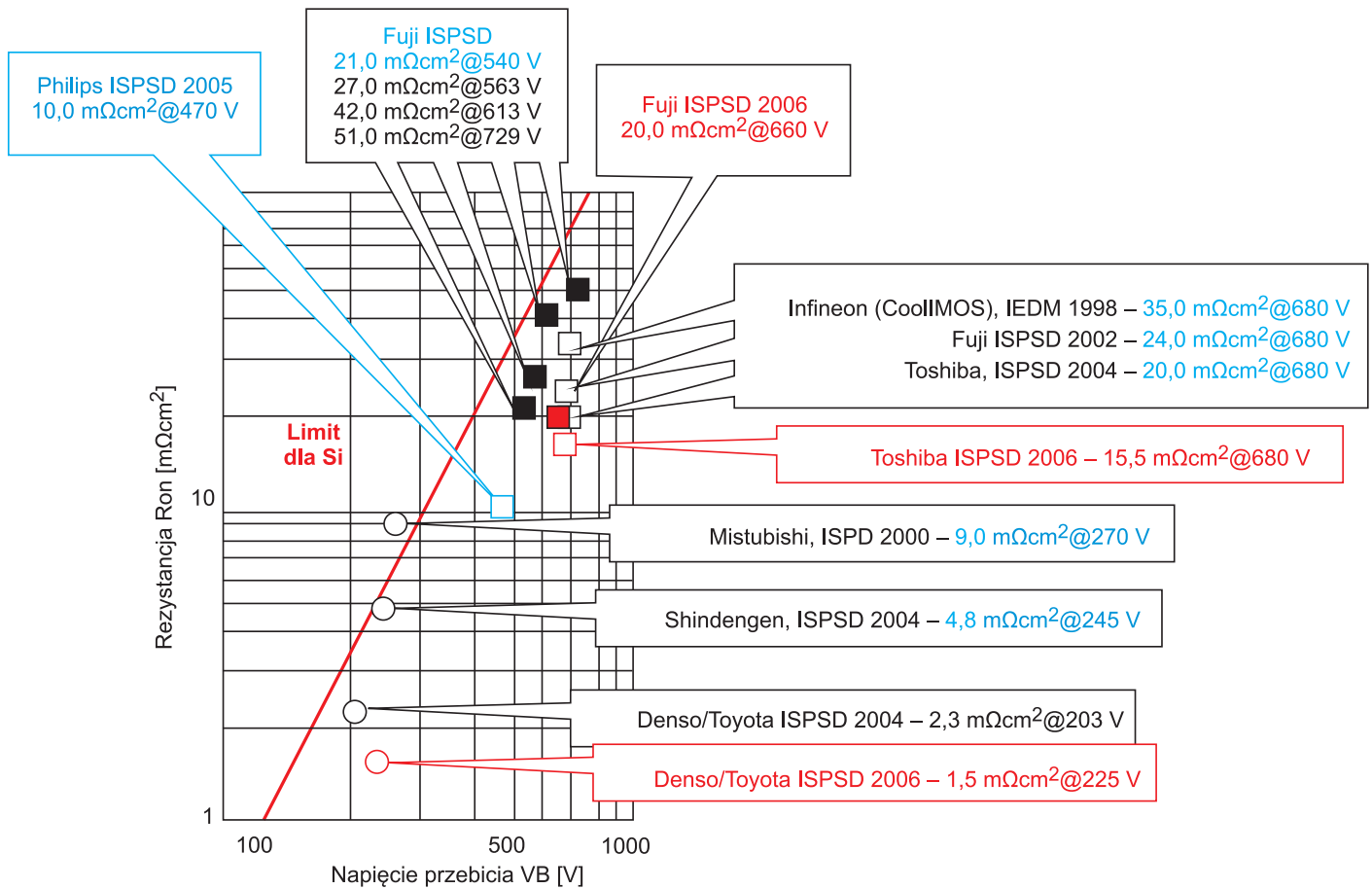
cyjnej technologii wytwarzania tranzystorów MOSFET, podwojenie napięcia zasilania skutkuje w przybliżeniu aż 5-krotnym wzrostem rezystancji $R_{DS(on)}$. Nowa technologia wytwarzania złącza SJ pozwoliła na przekroczenie tej bariery i uzyskanie bardzo małej rezystancji kanału, teoretycznie zbliżającej się do zera, a w praktyce do wartości ograniczonej możliwościami produkcyjnymi i wytrzymałością dielektryczną stosowanych materiałów.

Na **rysunku 1** pokazano graficznie wysiłek technologiczny niektórych producentów MOSFET'ów mocy. Tranzystory z serii

Dodatkowe informacje:
 Infineon Technologies Przedstawicielstwo
 w Polsce: EPCOS Polska sp. z o.o. A Group
 Company of TDK-EPC Corporation, ul.
 Bonifraterska 17, 00-203 Warszawa, tel:
 +48 22 2460 409, fax: +48 22 2460 400,
 e-mail: poland@infineon.com, www.infineon.com

CoolMOS CP w 2005 r. miały rezystancję włączonego kanału $24 \text{ m}\Omega\text{-cm}^2$.

Teoretycznie tranzystor ze złączem SJ jest bardzo prosty w budowie. Zilustrowano to na **rysunku 2**. Na podłożu $n+$ jest umieszczony jakby „pionowy komin” z półprzewodnika n - otoczony materiałem p . W ten sposób uzyskuje się przepływ prądu w pionowej strukturze (elektrony płyną ku powierzchni), co w naturalny sposób pozwala uzyskać niską rezystancję kanału w stanie przewodzenia. Jednak w praktyce wykonanie takiej pionowej struktury nie jest łatwe ze względu na wymagania odnośnie równomierności domieszkania i głębokości wykonania otoczenia z półprzewodnika p . Zauważmy,

Rysunek 1. Ilustracja wyścigu technologicznego przy produkcji tranzystorów ze złącem SJ (*super-junction*)

R E K L A M M A

600V CoolMOS™ C6

– jeszcze większa efektywność



Tranzystory C6 oferują większą sprawność,
bardziej kompaktową konstrukcję, mniejszą moc traconą

Tranzystory w technologii C6 charakteryzują się bardzo niskimi stratami statycznymi oraz dynamicznymi przy najlepszym stosunku ceny do jakości. Pozwala to na skrócenie cyklu projektowego oraz spełnienie wysoko postawionych oczekiwań wydajnościowych oraz norm prawnych.

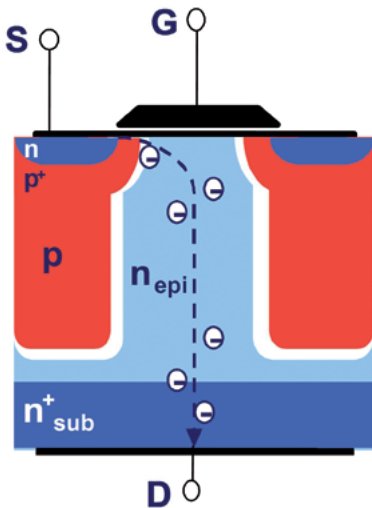
Kluczowe parametry oraz zalety:

- niska rezystancja kanału na jednostkę powierzchni ($R_{on} * A$)
- niska energia zgromadzona w pojemności wyjściowej (Eoss)
- niski ładunek wsteczny (Qrr)
- łatwa kontrola przełączania
- zoptymalizowana technologia CoolMOS w połączeniu ze wzmocnioną diodą zwrótną gwarantują ponadprzeciętną niezawodność
- niższa cena w porównaniu z poprzednimi generacjami tranzystorów

Tranzystory C6 dostępne z R_{on} pomiędzy 36mR a 3.3R w obudowach TO-247, TO-220, TO-220 FullPak, D2PAK, DPAK, oraz I2PAK

Tabela 1. Tranzystory CoolMOS z oferty Infineona

Seria	Rok wprowadzenia na rynek	Klasa napięciowa [V]	Charakterystyka	$V_{GS,th}$ [V]	G_{fs} [S]	R_G [Ω]
CoolMOS S5	1998	600	Mała rezystancja $R_{DS(on)}$. Czas przełączania zbliżony do standardowych MOSFET'ów mocy.	4,5	Mała	Duża
CoolMOS C2	2000	600	Krótki czas przełączania.	4,5	Mała	Mała
CoolMOS C3	2001	500/600/650/800	Krótki czas przełączania. Symetryczne zbocza sygnału narastającego/opadającego przy $U_{GS}=10$ V.	3	Duża	Mała
CoolMOS CFD	2004	600	Wbudowana szybka dioda. Q_{rr} tylko 1/10 serii C3.	4	Duża	Mała
CoolMOS CP	2005	500/600	Bardzo niska rezystancja $R_{DS(on)}$, bardzo mały ładunek Q_g . Bardzo krótki czas przełączania.	3	Duża	Mała
CoolMOS C6/E6	2009	600/650	Bardzo mała rezystancja $R_{DS(on)}$. Bardzo krótki, kontrolowany czas przełączania.	3	Duża	Mała



Rysunek 2. Budowa tranzystora ze złączem SJ

że sięga on w głąb struktury, bardzo blisko kontaktu $n+$. W subminiaturowej skali, w której wykonywane są struktury tranzystorów mocy, wyzwania stawiane technologii produkcji są bardzo duże.

Złącze SJ pozwala na wytwarzanie tranzystorów o rezystancji w stanie załączenia mniejszej niż 100 m Ω przy napięciu $U_{DS}=600$ V i umieszczanie ich w niewielkich obudowach, np. TO-220. Ponadto, w porównaniu z wytwarzanymi tradycyjną metodą tranzystorami mocy MOSFET, mają one niewielką pojemność dla danej wartości $R_{DS(ON)}$, ponieważ powierzchnia półprzewodnikowa, którą zajmują jest o wiele mniejsza. Wraz ze zmniejszeniem pojemności bramki tranzystora, również jej ładunek elektryczny niezbędny do sterowania tranzystorem, jest znacznie mniejszy.

CoolMOS w ofercie firmy Infineon

W tabeli 1 wymieniono rodziny tranzystorów CoolMOS, które są lub były dostępne w ofercie Infineona.

Pierwsze tranzystory z serii S5 wprowadzono do sprzedaży w 1998 r. W takim tempie, w jakim rozwijają się podzespoły, 12 lat to zamierzchła przeszłość. Niemniej Infineon nadal oferuje kilka typów tranzystorów z serii S5 o ciągłym prądzie drenu dochodzącym do 20 A (40 A w impulsie) i napięciu $U_{DS}=600$ V (np. SPB20N60S5),

Tabela 2. Porównanie tranzystorów CoolMOS CFD z CoolMOS C3 i standardowymi tranzystorami MOSFET (wszystkie w obudowach TO-220)

Parametr	CoolMOS C3 SPP11N60C3	CoolMOS CFD SPP11N60CFD	MOSFET z kompensacją STP11NM60FD	MOSFET z szybką diodą przełączającą IRFB16N60L
$R_{DS(on)}$ [m Ω]	380	440	450	460
Q_{rr} [μ C]	6	0,7	1,1	0,45
t_{rr} [ns]	400	140	190	130
dv/dt [V/ns]	6	40	20	10
I_{RBM} [A]	41	11	14,5	5,8

ale nie są one zalecane przez firmę do wooperacowywanych urządzeń.

Tranzystory z serii C2 nie są już oferowane. W naturalny sposób zostały zastąpione przez lepsze od nich z serii C3. Aktualnie tranzystory C3 są produktem standardowym i właśnie ich ma najwięcej Infineon w swojej ofercie. Zależnie od typu, napięcie U_{DS} w tej serii jest równe 500, 600, 650 lub 800 V, natomiast zakres prądu drenu mieści się w granicach 0,8...21 A (prąd impulsowy jest ok. 3-krotnie większy). Tranzystory są oferowane w różnych obudowach do montażu przewlekane go i do montażu SMD.

W strukturę tranzystorów CoolMOS CFD wbudowano bardzo szybką diodę usprawniającą, dzięki czemu nadają się one do aplikacji przełączających obciążenia z dużą częstotliwością. W stosunku do tranzystorów z serii C3 10-krotnie zmniejszono ładunek gromadzony przez diodę w momencie przełączenia, co 3-krotnie skróciło czas przełączenia diody. Dzięki temu w serii CFD parametr dv/dt=6 V/ns, natomiast w C3 40 V/ns. Tranzystory z serii CFD mają w porównaniu z C3 większą o 10...15% rezystancję $R_{DS(on)}$. Porównanie wybranych parametrów tranzystorów CoolMOS CFD, CoolMOS C3 oraz konkurencyjnych MOSFET'ów wyprodukowanych w standardowej technologii zamieszczono w tabeli 2.

Tranzystory z serii CP są aktualnie jednymi z najszybszych, wysokonapięciowych ($U_{DS}=500$ lub 600 V) tranzystorów przełączających. Parametr dv/dt jest równy aż 50 V/ns. Tak krótki czas przyrostu napięcia redukuje straty przełączania, upraszcza układ przetwornicy oraz powoduje wzrost

sprawności. Dodatkowo, CoolMOS CP wymaga niewielkiego ładunku bramki i niskiego napięcia sterującego, więc można go sterować bezpośrednio z wyjścia mikrokontrolera lub układu generatora zbudowanego na standardowych układach cyfrowych. O zaletach takiego rozwiązania nie trzeba przekonywać żadnego konstruktora.

CoolMOS C6

W 2009 r. firma Infineon wprowadziła do sprzedaży tranzystory przełączające szóstej generacji – CoolMOS C6 i E6, łączące w sobie zalety CoolMOS CP i uniwersalność CoolMOS C3.

CoolMOS C6 są tranzystorami pracującymi przy napięciu U_{DS} wynoszącym, zależnie od typu, 600 lub 650 V. Zakres wartości przełączanych prądów rozciąga się od 1,8 do 76 A (prąd impulsowy jest blisko 3-krotnie wyższy od znamionowego). Infineon zaleca stosowanie nowych tranzystorów w aplikacjach, w których szczególne znaczenie ma osiąganie wysokiej sprawności przy dużej gęstości mocy. Są to zasilacze komputerów przenośnych, przetwornice współpracujące z ogniwami słonecznymi i różne inne zasilacze impulsowe (SMPS), w których w celu spełnienia norm bezpieczeństwa jest wymagany pewien zapas napięcia przebicia. W porównaniu do tranzystorów z serii C3, nowe C6/E6 mają zredukowany o 25% ładunek przechowywany w pojemności wyjściowej oraz większą odporność na udary powstałe podczas przełączania. Ponadto, co bardzo ważne – oprócz doskonałych właściwości są od nich tańsze. Nietrudno przewidzieć, że w takiej sytuacji nowa seria zastąpi starą i zdobędzie co najmniej taką samą (o ile nie wyższą) popularność.

Tabela 3. Zestawienie tranzystorów CoolMOS C6/600 V

$R_{DS(on)}$ [Ω] ID [A]	TO-252 (D-PAK)	TO-263 (D ² PAK)	TO-220	TO-220 fullpak	TO-262 (I ² PAK)	TO-247
3,0 1,8	IPD60R3k0C6					
2,0 2,5	IPD60R2k0C6					
1,4 3,2	IPD60R1k4C6		IPP60R1k4C6			
0,95 4,5	IPD60R950C6	IPB60R950C6	IPP60R950C6	IPA60R950C6		
0,75 6,2	IPD60R750C6		IPP60R750C6	IPA60R750C6		
0,6 7,3	IPD60R600C6	IPB60R600C6	IPP60R600C6	IPA60R600C6		
0,52 8	IPD60R520C6		IPP60R520C6	IPA60R520C6		
0,45 9,5	IPD60R450C6		IPP60R450C6	IPA60R450C6		
0,38 11 A	IPD60R80C6	IPB60R380C6	IPP60R380C6	IPA60R380C6	IPI60R380C6	
0,28 15		IPB60R280C6	IPP60R280C6	IPA60R280C6	IPI60R280C6	IPW60R280C6
0,19 20		IPB60R190C6	IPP60R190C6	IPA60R190C6	IPI60R190C6	IPW60R190C6
0,16 24		IPB60R160C6	IPP60R160C6	IPA60R160C6		IPW60R160C6
0,125 30		IPB60R125C6	IPP60R125C6	IPA60R125C6		IPW60R125C6
0,099 35		IPB60R099C6	IPP60R099C6	IPA60R099C6		IPW60R099C6
0,07 47						IPW60R070C7
0,041 76						IPW60Ro41C6

R E K L A M A

W tabeli 3 zamieszczono krótkie zestawienie typów tranzystorów CoolMOS C6 wytrzymujących napięcie $U_{DS} = 600$ V.

Podsumowanie

Nowe tranzystory firmy Infineon i technologia ich wytwarzania zostały opracowane aby „przekroczyć” ograniczenia narzucane przez krzem, ponieważ w tradycyjnych tranzystorach MOSFET podwojenie napięcia zasilania skutkuje w przybliżeniu aż 5-krotnym wzrostem rezystancji $R_{DS(on)}$. Dzięki swoim parametrom tranzystory CoolMOS doskonale nadają się do wszelkiego rodzaju aplikacji przełączających, przyczyniając się do uproszczenia ich konstrukcji i zwiększenia sprawności energetycznej.

Jacek Bogusz, EP
jacek.bogusz@ep.com.pl

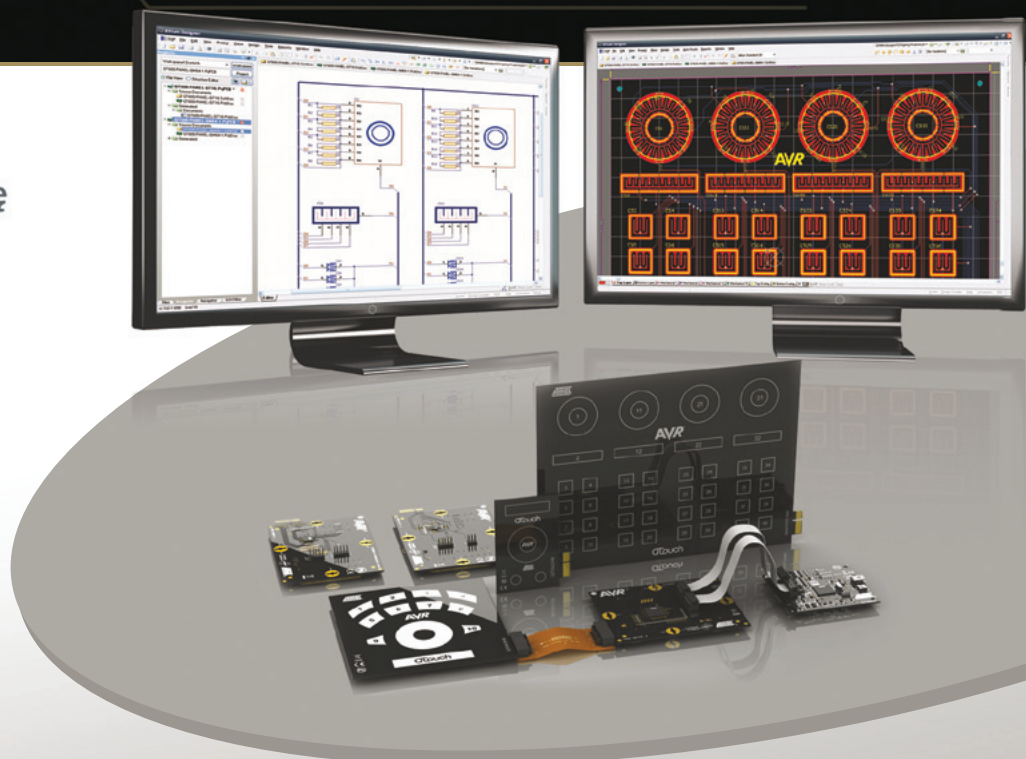
Literatura:

- [1] X. B. Chen, C. Hu, „Optimum doping profile of power MOSFET's epitaxial Layer.”, *IEEE Trans. Electron Devices*, vol. ED-29, pp. 985-987, 1982
- [2] T. van Roon „Transistors tutorial, part 9.”, <http://www.sentex.ca/~mec1995/tutorial/xtor/xtor9/xtor9.html>
- [3] Ch.Jeschko, M.Kutschak „600 V CoolMOS. C6 makes energy efficiency more affordable”, <http://www.infineon.com>

Altium Designer

Inni już wybrali
Teraz Ty wykorzystaj swoją szansę

Nie ograniczaj swoich horyzontów projektowych. Porzuć tradycyjny sposób projektowania i skorzystaj z kompleksowego rozwiązania. Użyj wszystkich dostępnych technologii i układów, by zmienić swoje pomysły w rzeczywiste produkty, które będą gotowe do spełnienia wymagań przyszłości.



©2010 Altium Limited. Wszystkie prawa zastrzeżone. Altium, Altium Designer i ich odpowiednie loga są znakami handlowymi lub zastrzeżonymi znakami handlowymi firmy Altium Limited lub jej oddziałów.

©2010 Atmel Corporation. Wszystkie prawa zastrzeżone. Atmel®, Atmel logo i ich odpowiednie loga AVR®, AVR Studio®, QTouch® i inne są zarejestrowanymi znakami handlowymi, picoPower™ i inne są znakami handlowymi firmy Atmel lub jej oddziałów. Wszystkie inne zarejestrowane lub niezarejestrowane znaki handlowe, które są tutaj wymienione są własnością ich odpowiednich właścicieli i żadne prawa do nich nie są zgłaszane.