

特集 自動車用SOIインテリジェントパワーIC技術*

SOI Intelligent Power IC Technology for Automotive Electronics

飯田 眞喜男 藤本 裕 安部 博文 伴 博行 水野 祥司
 Makio IIDA Hiroshi FUJIMOTO Hirofumi ABE Hiroyuki BAN Shoji MIZUNO
 大倉 勝徳
 Katsunori OOKURA

This paper describes the features of a device dielectrically isolated using trenches and SOI intelligent power ICs for automotive electronics. Intelligent power ICs are a typical application of SOI devices dielectrically isolated using trenches and those that we have developed are an integration of DMOS transistors, CMOS transistors, bipolar transistors with a high breakdown voltage and thin-film resistors. SOI intelligent power ICs suits various smart actuators and ECUs (Electronic Control Units) for automotive applications.

Key words : Semiconductor, SOI, Intelligent power IC, Smart power IC, Bonded silicon wafer, ECU, Electronic Control Unit, Airbag, ISCV, Smart actuator

1. はじめに

ウェハ貼り合わせを用いたSOI(Silicon On Insulator)技術の最近の発展は、従来のPN接合分離を用いたバルクシリコンICに比べ魅力的な特長を提供している。このSOI技術を用いた構造は、寄生効果の防止、高温動作、高耐圧と高集積の両立など優れた特長を持っている。SOIデバイスは、インテリジェントパワーIC、高耐圧IC、ミックスシグナルICなど多くの用途に開発されている¹⁾²⁾³⁾⁴⁾⁵⁾。

本論文では、狭い溝で完全に絶縁分離されたトレンチ絶縁分離SOIデバイスの基本的な特長を述べ、実用化例として我々の開発した、貼り合わせSOIウェハとトレンチエッチング技術を組み合わせてトレンチ絶縁分離した自動車用SOIインテリジェントパワーIC技術について述べる。

2. トレンチ絶縁分離SOIデバイスの特長

トレンチ絶縁分離SOIデバイスでは、パワーデバイス、バイポーラデバイス、CMOSデバイスが、狭い溝で完全に絶縁分離されている。Fig. 1に断面図を示し、主な三つの特長をTable 1に示す。第1の特長は、Fig. 1に示されているように、デバイス間が完全に絶縁分離されていることによる寄生効果の防止である。第2の特長は、狭い溝で絶縁分離することによる高集積の実現である。第3の特長は、高耐圧ICや高温で動作するICが実現できることである。寄生効果の防止、高耐圧、高温動作の特長について具体的に説明する。

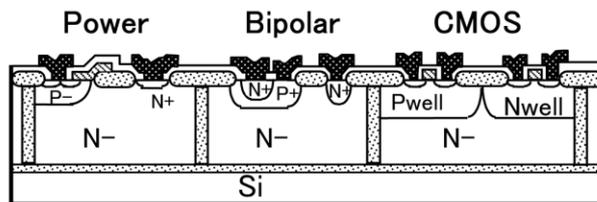


Fig. 1 Cross-section of an SOI device dielectrically isolated using trenches

Table 1 Features of SOI device dielectrically isolated using trenches

(1) Complete isolation	➡	Elimination of parasitic effect
(2) Narrow isolation area	➡	High integration density
(3) High-performance device	➡	High breakdown voltage High temperature operation

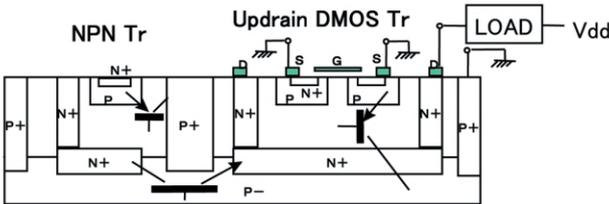
2.1 寄生効果の防止

トレンチ絶縁分離SOIデバイスにおける寄生効果の防止を、インテリジェントパワーICの例で説明する。ソレノイドやモータなどのL負荷駆動時の寄生電流は、不都合な寄生効果であり、予想しにくくて対応が難しい⁶⁾。多くの場合L負荷を駆動すると出力端子の電位は電源電圧以上やGND以下になり、パワーICの出力素子に用いるDMOSトランジスタやバイポーラトランジスタは寄生効果が活性化され、うまく制御しないと破壊に至る寄生動作が生じる。Fig. 2に、接合分離インテリジェントパワーICとトレンチ絶縁分離インテリジェントパワーICの寄生トランジスタの比較を示

* VDE Conference Officeの了解を得てSecond International Conference on Integrated Power Systems 2002 より、一部加筆して和訳転載

す。トレンチ絶縁分離インテリジェントパワーICには、Fig. 2のように寄生トランジスタがなく、回路設計やパタンレイアウトが容易になり、ファーストシリコンから完成度の高い試作品を提供できる。

Junction isolation



Trench dielectric isolation

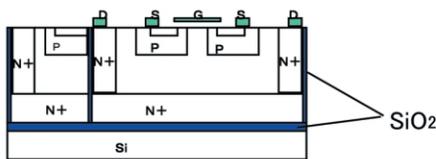


Fig. 2 Parasitic transistors of junction isolated intelligent power ICs and intelligent power ICs dielectrically isolated using trenches

2.2 高耐圧

ウェハ貼り合わせを用いたSOI技術と深いトレンチエッチング技術は、絶縁分離高耐圧ICに用いられるよく知られた技術である¹⁾⁴⁾⁵⁾ SOIウェハを用いた高耐圧デバイスは、完全空乏構造を用いる。SOI構造の酸化膜の厚さは、完全空乏構造にとって大変重要であり、SOI構造の酸化膜の厚さが増加すると耐圧が増加する。ウェハ貼り合わせSOI構造で酸化膜の厚さを制御することは容易であり、この酸化膜厚を所定の厚さに設定することで、高耐圧デバイスが実現できる。

2.3 高温動作

高温動作は、トレンチ絶縁分離SOIデバイスの特長である。PN接合分離デバイスでは、分離領域のPN接合面積が大きく高温でのリーク電流が大きい。一方、トレンチ絶縁分離SOIデバイスでは、分離領域にPN接合がなく高温でのPN接合のリーク電流がないため、高温まで動作が可能となる。我々の実験した32ビットマイクロコントローラを搭載したSOIインテリジェントパワーICでは、周囲温度を5ステップで上げて高温動作を実験した結果、周囲温度で $T_a = 150$ 、接合温度で $T_j = 190$ まで正常に動作することを確認できた。

3. インテリジェントパワーIC

自動車エレクトロニクス、フラットパネルディスプレイ、モータ制御や電源など多くの分野でインテリジェントパワーICは使われており、インテリジェントパワーICは、現在パワー半導体デバイスが使われているすべての分野でインパクトがあると予想される。

パワーデバイス、バイポーラデバイス、CMOSデバイス、素子分離技術はインテリジェントパワーICの重要な要素技術である。素子分離には、二つのタイプがあり、一つは接合分離であり、もう一つは誘電体分離である。従来の誘電体分離は化学エッチング技術を用いて形成され、トレンチ絶縁分離はSOIウェハとトレンチエッチング技術を用いて形成される。トレンチ絶縁分離は、幅の狭い分離領域で優れた素子分離性能を実現し、寄生効果が防止され、回路設計やパタンレイアウトが容易になり、高集積と寄生効果の防止を両立している。

4. 自動車用インテリジェントパワーIC

自動車用パワー半導体デバイスは、いろいろな自動車エレクトロニクスの用途で、幅広い電圧と電流の範囲で使われている。インテリジェントパワーシステムは、パワーデバイス、低電圧回路用電源、アナログ回路、マイクロコントローラ、インターフェイス回路などで構成され、自動車用インテリジェントパワーICは、パワーデバイスの他、パワーシステムのどの部分をIC化するかににより、いろいろなタイプがある。自動車用インテリジェントパワーICの例として、入出力インターフェイス回路、5V電源回路、制御回路、駆動回路、検出回路、及びパワーデバイスを集積したブロック図をFig. 3に示す。

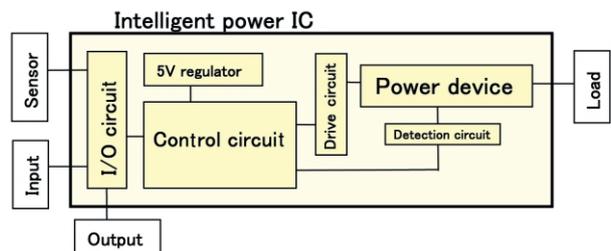


Fig. 3 Intelligent power IC block diagram for automotive electronics

我々は、貼り合わせSOI技術と深いトレンチエッチング技術を組み合わせた自動車用SOIインテリジェントパワーICを開発した。このSOIインテリジェントパワーICは、DMOSトランジスタ、CMOSトランジスタ、バッテリー系バイポーラトランジスタ、薄膜抵抗を集積しており、必要に応じてEPROMを集積する。そして、マイクロコントローラ、I/O回路、高精度アナログ回路、出力素子などをこのSOIインテリジェントパワーICに搭載できる。

4.1 自動車用SOIインテリジェントパワーICの適用例

自動車用ICは、いろいろな機能のスマートアクチュエータやECU (Electronic Control Units)、メータ、オルタネータ、レギュレータなど、さまざまな自動車用エレクトロニクス部品に用いられる。今日の自動車用ICには、(1) アナログ回路に用いるバイポーラトランジスタの高集積と高耐圧の両立、(2) アナログ回路、デジタル回路 (CMOSトランジスタ)、出力素子 (DMOSトランジスタ) の集積、(3) 耐ノイズ性の向上、が必要である。

我々は、自動車用ICとして必要なこれら(1)~(3)の特長を備えた、貼り合わせSOIウェハと深い

トレンチエッチング技術を組み合わせたSOIインテリジェントパワーICを開発し、多くの自動車用ICに適用している。

4.2 ISCV (Idle Speed Control Valve) スマートアクチュエータ用シングルチップIC

ISCVスマートアクチュエータはSOIインテリジェントパワーICを用いており、スマートアクチュエータの形状とチップコンデンサを搭載したマルチチップのカスタムパッケージをFig. 4に示す。このSOIインテリジェントパワーICの回路ブロック図をFig. 5に示す。入力信号のデューティ比により、ソレノイドを駆動する0.5AクラスのLDMOSを4個もちいたHブリッジ出力が用いられている。このスマートアクチュエータは、過熱保護、負荷ショート、負荷オープンに対するフェイルセーフ機能を有している。Fig. 6に、デジタル回路、インターフェイス回路、ドライブ回路、パワー素子を集積したISCVスマートアクチュエータ用シングルチップICのチップ写真を示す。

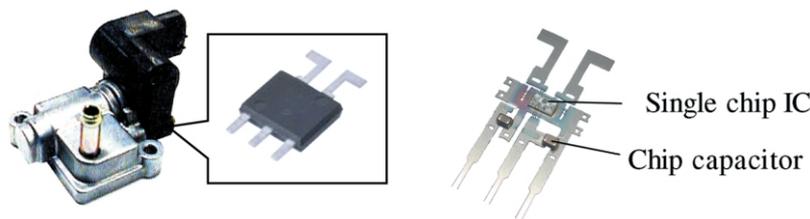


Fig. 4 ISCV smart actuator and custom package with chip capacitors

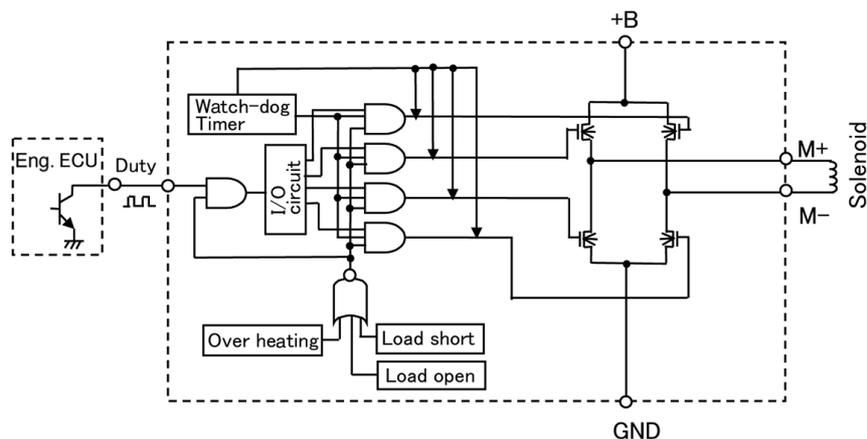


Fig. 5 ISCV intelligent power IC block diagram

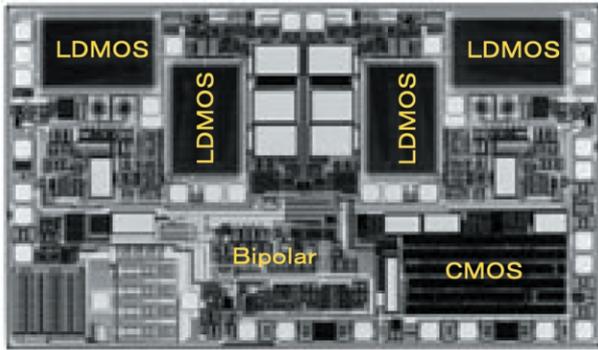


Fig. 6 Single chip IC for ISCV

4.3 エアバッグECU用シングルチップIC

エアバッグECU用シングルチップICは、自動車用SOIインテリジェントパワーICの代表例である⁷⁾このICは、マイクロコントローラ、デジタル回路、インターフェイス回路、5V電源、ドライブ回路、パワー素子を集積している。Fig. 7に、エアバッグECU用シングルチップICのチップ写真を示す。このICに搭載されたLDMOSは、1.5Aの駆動能力がありエアバッグを起動できる。また、高性能でコアサイズの小さな32bitコンパクトRISC (Reduced Instruction Set Computer) コアをCPUに用い、OTP (One Time Programmable) ROM用にEPROMを集積している。この32bitコンパクトRISCコアは、自動車用に特化して小さなコアの規模で高性能を実現しており、従来の16bit CISCコアとの比較をTable 2に示す。

4.4 SOIインテリジェントパワーICのウェハプロセスとデバイス

自動車用SOIインテリジェントパワーICの断面図を、Fig. 8に示す⁸⁾。N⁻ / N⁺ / SiO₂ / Si構造SOIウェハを用い、N領域の厚さと不純物濃度は、バイポーラトランジスタの耐圧を高くするように決め、バイポーラトランジスタの面積縮小と寄生トランジスタ効果の防止のため、トレンチ絶縁分離技術を用いた。この素子

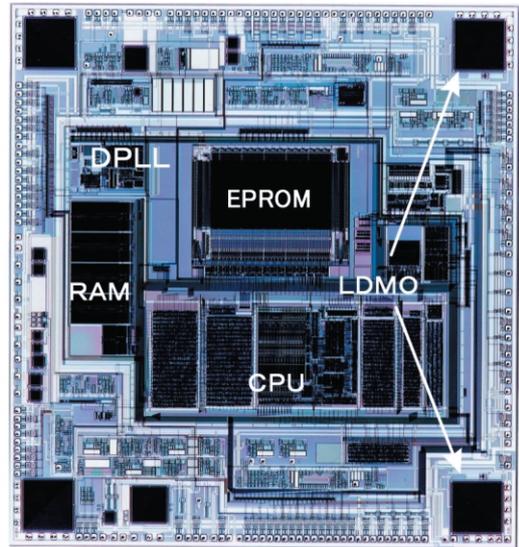


Fig. 7 Single chip IC for airbag ECU

Table 2 Comparison of 32 bit compact RISC and a conventional 16 bit CISC used for an airbag system

	32 bit RISC	16 bit CISC
Core size [transistors]	28000	85000
Performance[MIPS] (Dhrystone)	12	3
Instructions	118	>200
General registers	16	8
Code size[kbytes] (airbag)	20	20

分離技術は、SOIウェハを用いシリコンに幅が狭く深い溝を形成し、溝の側壁を酸化し、ポリシリコンを溝に充填し、CMP (Chemical Mechanical Polishing) で平坦化する技術より構成される。その後のウェハ製造

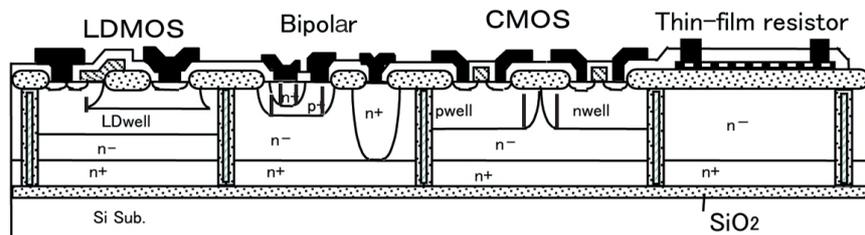


Fig. 8 Cross-section of SOI intelligent power IC

プロセスは、従来のPN接合分離と同じ製造技術を用いる。

この自動車用SOIインテリジェントパワーICは、60VDMOSトランジスタ、5VCMOSトランジスタ、BVCEO > 35Vバイポーラトランジスタ、TCR (Thermal Coefficient of Resistance) 特性の優れた薄膜抵抗を集積している。パワーデバイスとして低オン抵抗のLDMOSを集積した。LDMOSの電子電流は表面を流れ、LDMOSのオン抵抗はセルサイズの縮小につれ減少する。LDMOSのオン抵抗は、セルサイズの小さな領域でVDMOSより小さくなる。0.8 μ mCMOS技術を用いるとLDMOSトランジスタのオン抵抗は95m Ω ・mm²、ドレイン-ソース間耐圧は73Vである。また、VDMOSはESD耐量の必要なときに用いる。32bit RISCコアを集積するため、EPROMを搭載した0.8 μ mCMOS技術を、SOIインテリジェントパワーICのベースプロセスに用いた。

高精度アナログ回路用にCr-Si-N薄膜抵抗を集積している。この薄膜抵抗は、抵抗温度特性が良好でレーザートリミングにより抵抗値を調整できる。シート抵抗は480 Ω /sqで、TCRは、抵抗温度特性は2次係数を持たず、-2ppm/ $^{\circ}$ Cと非常に小さい。

5. まとめ

インテリジェントパワーICは、狭い領域で完全に素子分離されたトレンチ絶縁分離SOIデバイスの代表的な応用であり、我々は、DMOSトランジスタ、CMOSトランジスタ、バッテリー系バイポーラトランジスタ、薄膜抵抗を集積した自動車用SOIインテリジェントパワーICを開発した。このSOIインテリジェントパワーICは、いろいろな機能のスマートアクチュエータやECUなど、さまざまな自動車用エレクトロニクス部品に用いられている。

<参考文献>

- 1) E. Arnold: J. Electrochem. Soc., Vol. 141, No. 7 (1994) p. 1983 .
- 2) J. P. Colinge: IEDM 94, p. 817 .
- 3) T. Abe, M. Katayama: Proc. of ISPSD '96 p. 41
- 4) Sumida, et al.: Proc. of ISPSD '98 p. 137 .
- 5) A. Nakagawa: CIPS 2000 p. 8 .
- 6) B. Murai, F. Bertotti, G. A. Vignola: Smart Power ICs, p. 218, Springer, New York (1995)
- 7) K. Kawamoto, S. Mizuno, H. Abe, Y. Higuchi, S. Fujino, I. Shirakawa: SSDM 2000, p. 486 .
- 8) M. Iida, T. Nishizawa, S. Mizuno, K. Kohno, Y. Higuchi, S. Toyoshima: PCIM INTER '98, p. 21 .



<著 者>



飯田 真喜男
(いいた まきお)
IC技術1部
半導体の技術企画に従事



藤本 裕
(ふじもと ひろし)
IC技術1部
自動車用ICの開発・設計に従事



安部 博文
(あべ ひろふみ)
IC技術1部
自動車用ICの開発・設計に従事



伴 博行
(ばん ひろゆき)
IC技術1部
自動車用ICの開発・設計に従事



水野 祥司
(みずの しょうじ)
デバイス事業部デバイス開発室
半導体プロセスの開発に従事



大倉 勝徳
(おおくら かつのり)
IC技術1部
半導体の開発・設計に従事