

## 用於電力電子之雙重擴散金氧半元件精簡模型

### Compact Modeling of DMOS Device

計畫編號：NSC 89-2215-E-002-044

執行期限：89年8月1日至90年7月31日

主持人：郭正邦 教授

執行機關：國立台灣大學電機工程學系

E-Mail Address: [jbkuo@cc.ee.ntu.edu.tw](mailto:jbkuo@cc.ee.ntu.edu.tw)

#### 一. 中文摘要

本計畫係利用近似飽和模型來說明高壓雙重擴散金氧半元件的高溫(300K-400K)近似飽和特性。經由實驗和二維元件模擬結果加以驗證，本計畫所發展之近似飽和模型可以說明在高溫的環境下，由於較小的飽和速度，雙重擴散金氧半元件的近似飽和特性會發生在較小的閘極電壓。

**關鍵字：**高溫，雙重擴散金氧半元件，近似飽和特性，飽和速度

#### Abstract

This paper reports the analysis of the high temperature (300K-400K) quasi-saturation behavior of high-voltage DMOS devices using a compact quasi-saturation model. At a high temperature, the quasi-saturation behavior occurs at a smaller gate voltage due to the smaller saturated velocity.

**Keywords:** high-temperature, DMOS, quasi saturation, saturated velocity

#### 二. 計畫緣由與目的

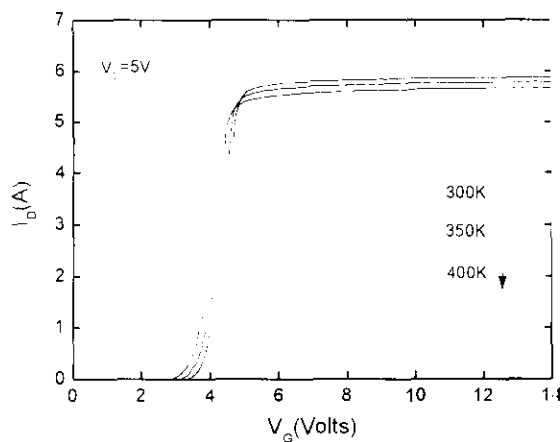
在實用上，有相當多的電路必須被設計用於控制及承載較高的電流及較大的電壓，例如電源控制電路及功率放大器等

[1][2]；而此類電路因其高電壓高電流的特性，很難使用單一的互補式金氧半元件技術來實現整個電路，需要將控制與驅動電路的部份分開考慮。但近年來隨著製程技術的進步，將一般的互補式金氧半元件電路（或者是絕緣體上矽電路）與功率元件整合在一起成為單一晶片的技術變為可能[3]，而設計者就可依需求選擇所需要的功率元件並結合相關的電路封裝成為一功率積體電路，如此在面積、成本及設計上都有很多的優點。而此類功率積體電路在使用上也有越來越廣泛的趨勢。功率積體電路中所使用的功率元件種類很多，其中雙重擴散金氧半元件有著操作速度較快及很寬的 SOA 區域等的優點[1]。在未來電路逐漸往高頻發展時雙重擴散金氧半元件，絕對是一種重要的功率元件；而在之前的研究文獻指出，雙重擴散金氧半元件在操作時有一重要的特性—近似飽和 (Quasi-Saturation) 會限制元件本身在操作上的表現[4][5]。造成近似飽和的原因相當複雜，其中有許多因素都會受到溫度的改變而改變。而目前使用雙重擴散金氧半元件設計的功率積體電路已經被使用在高溫環境下，例如引擎、電機設備的控制。因此高溫環境對雙重擴散金氧半元件的近似飽和現象的影響是值得探討的。對雙重

擴散金氧半元件而言，當元件操作環境溫度上昇時，除了元件的臨界電壓會隨著溫度的上昇而減小外，近似飽和電流也會下降，同時近似飽和的發生電壓也會提前，因此我們可以知道溫度改變對元件在近似飽和的操作有確實的影響；本計畫將使用二維元件模擬器 (MEDICI) 來模擬雙重擴散金氧半元件在不同溫度下發生近似飽和時的各種內部現象，然後由此建立一模型來預測近似飽和與溫度的關係。

### 三. 結果與討論

本計畫中我們將使用 MEDICI 來模擬雙重擴散金氧半元件並了解在不同溫度下發生近似飽和時雙重擴散金氧半元件內部現象，然後由此建立一模型來預測近似飽和與溫度的關係。

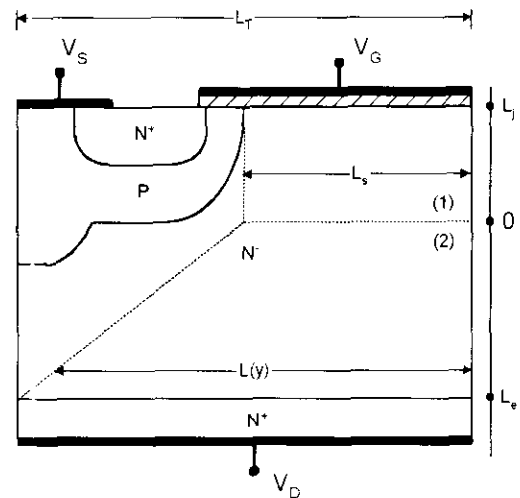


圖一

圖 1 是一個典型的電力元件 IRF540[6] 在不同溫度下所量測到的直流電流特性。當元件本身的溫度上昇時，除了元件的臨界電壓會隨著溫度的上昇而減小外，近似飽和的電流也會下降，同時近似飽和的發生電壓也會提前，因此我們可以知道溫度改變對元件在近似飽和的操作有確實的影響。

圖 2 為二維元件模擬器模擬時所使用的元

件結構。由於垂直雙重擴散金氧半元件 (VDMOS) 左右對稱，因此，我們只利用一半的元件架構來進行分析。我們選擇閘極氧化層的厚度為  $500\text{\AA}$ ，而在閘極氧化層的下方，利用二次擴散的技術形成  $0.6\mu\text{m}$  的水平元件通道 ( $L_{ch}$ )，其摻雜為 p 型，濃度為  $2.5 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$ 。在水平元件通道的下方有一層厚為  $10\mu\text{m}$ ，摻雜濃度為  $5 \times 10^{15} \text{cm}^{-3}$ ，被用來承受高電壓的 n 型磊晶層 (drift region)。為了分析的方便，我們將此區間區分為  $y=0$  到  $y=L_j$  ( $4\mu\text{m}$ ) 和  $y=0$  到  $y=L_e$  ( $6\mu\text{m}$ ) 二部份；而從水平元件通道的右端到元件的最右端的長度 ( $L_s$ ) 為  $6\mu\text{m}$ ，而整個元件的橫截面寬度為 ( $L_T$ )  $12\mu\text{m}$ 。



圖二

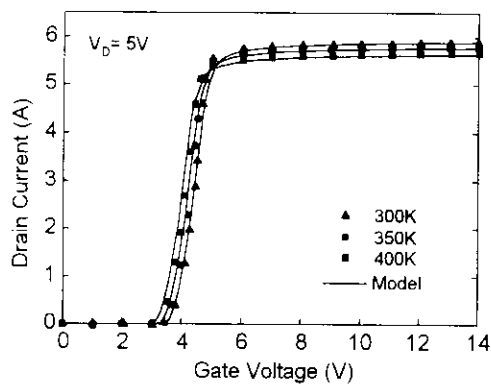
為了更進一步分析雙重擴散金氧半元件內部現象，我們將元件分為三個區間，分別是 channel region, drift region (1) 和 drift region (2)，如圖 3 所示。在雙重擴散金氧半元件未到達近似飽和前，溫度對元件內部的電子濃度分布並無顯著影響；而在達到近似飽和後，在 drift region 內的電子濃度分布的確會隨著溫度的改變而不同，而變化的區域則是集中在 drift



Temp	$\phi_{fp}$	$X_d$ ( $\mu\text{m}$ )	$V_{TH}$ (V)
300K	0.43	0.066	3.715
350K	0.39	0.064	3.514
400K	0.35	0.061	3.303

圖四

圖 5 為垂直雙重擴散金氧半元件電流和溫度的關係圖，相關的參數計算結果列在圖中。



Temp	$v_{max}$ (cm/sec)	$\mu_n$	$\mu_{n,dnft}$	$E_c$ (kV/cm)
300K	$8.38 \times 10^6$	894	305	12.5
350K	$7.84 \times 10^6$	801	263	13.3
400K	$7.39 \times 10^6$	708	230	14.1

圖五

在這份報告中，我們討論了不同溫度對近似飽和的影響，並嘗試綜合修改以往提出的公式以建立一個新的模型來預測溫度對近似飽和的發生電壓和發生電流的影響。由之前的分析，我們可以很明顯的看到，電子遷移率及飽和速度會受溫度而產生很大的變化，進而影響 drift region 中的電子濃度和電場的分布，改變了近似飽和的電流及電壓；也就是說，當溫度上升時，電子遷移率及飽和速度隨著下降，使得近似飽和的電流隨之減小，發生近似飽和的電

壓也相對提前。

#### 四. 計畫成果自評

本計畫發展了一個新的模型來預測溫度對垂直雙重擴散金氧半元件近似飽和的發生電壓和發生電流的影響，其內容及結果和申請之初的預期目標相符合。本計畫亦培訓了絕緣體上矽技術的相關人才，計有碩士班數人。為使計畫的成果能更進一步的擴大，對雙重擴散金氧半元件之領域的發展能有所助益，重要的研究成果也已經在國際期刊中發表。

#### 五. 參考文獻

- [1] B. K. Bose. "Modern Power Electronics – Evolution, Technology, and Applications," *IEEE Press*, 1992.
- [2] D. A. Grant and J. Gowar, "POWER MOSFETS – Theory and Applications," New York: Wiley, 1989.
- [3] H. Yamaguchi, H. Himi, S. Fujino, and T. Hattori, "Intelligent Power IC with Partial SOI Structure," *International Conference on Solid State Devices and Materials*, pp. 307-309, 1994.
- [4] C.M. Liu, K. H. Lou and James B. Kuo, "77K Versus 300K Operation: The Quasi-Saturation Behavior of a DMOS Device and Its Fully Analytical Model" *IEEE Trans. Electron Devices*, vol. 40, pp. 1636-1644, Sep. 1993.
- [5] C.M. Liu, K. H. Lou and James B. Kuo, "Two Dimensional Analysis of Low Temperature Quasi-Saturation Behavior in a Vertical DMOS Power Transistor Operating at 77K for Derivation of a Closed-Form Analytical Model," *International Electron Devices and Materials Symposium*, Taipei. 1992.
- [6] "MOSPOWER Applications" Siliconix Inc., 1984.