

國立臺灣師範大學科技與工程學院電機工程學系

碩士論文

Department of Electrical Engineering
College of Technology and Engineering
National Taiwan Normal University
Master's Thesis

對 CMOS 金屬化中由靜電放電誘發之電遷移研究

Study on ESD-Induced Electromigration in CMOS
Metallization

侯洋守

Yang-Shou Hou

指導教授：林群祐 博士

Advisor: Chun-Yu Lin, Ph.D.

中華民國 113 年 1 月

January 2024

Acknowledgment

時光荏苒，在國立臺灣師範大學電機工程學系的日子也即將迎來尾聲，從起初懵懂未知、對於「電機」尚無任何概念的大學部新生，到現在即將從研究所碩士班畢業，不知不覺在此處也過去了六年半。而這一路走來也遇到了太多的人事物，此刻撰寫謝辭的當下竟意外不知從何下筆，畢竟這段濃厚的時光並不是三言兩語得以表達的。當然首先必須感謝的仍是我的父母，儘管因為不擅表達情感而未能說出口，甚至常因想法不同而與你們有所爭執，但其實我仍然知道你們在各方面付出了許多，讓我在求學階段能毫無後顧之憂。雖然你們時不時會擔心各種事情，卻又同時知曉我不喜受到束縛的個性，因此只是單純地相信我會做好每件事而默默地支持我，對於你們的信任除了感謝外別無他想。

在這段求學生涯中最要感謝我的指導老師林群祐教授，從大學部專題到碩士班研究，皆十分有幸能受到老師的多方面指導。除了專業領域上的豐沛學識外，老師對於所有事情的勤勞與嚴謹程度都是我難以望其項背的，同時也是值得我用終身學習的目標。既使在最忙碌的時刻都會抽空與學生討論研究，甚至凌晨時分也仍辛勤批閱報告與論文並給出中肯的建議。同時老師也在研究的過程中提供了許多資源，除了儀器使用與晶片下線外，也不乏投稿研討會與期刊的機會，甚至提供我去往日本名古屋參加研討會的經費，成為我非常寶貴的經驗。

實驗進行的過程中也十分感謝國家實驗研究院臺灣半導體研究中心，提供了EDA軟體的使用權限與兩次晶片下線的機會，令敝人的研究內容能有充足的實驗數據做為後盾。同時也要感謝本系的蔡政翰教授與張映晨同學，輔佐敝人使用射頻積體電路實驗室的顯微鏡進行失效分析。另外，對於兩位口試委員，晶炫半導體股份有限公司的黃紹璋總經理與國立臺灣大學電機工程學系的張子璿教授，也致上最誠摯的謝意，除了撥冗前來出席敝人碩士論文口試外，也根據自身專業提出不同方向的見解使此篇論文更加完整與嚴謹，此份恩情將沒齒難忘。

而在師大電機的這段時間裡，系上辦公室也儼然成為了我在臺北的第二個家。在求學與研究的過程中難免存在枯燥乏味、精疲力竭的時刻，十分感謝辦公室內所有人的包容與耐心，讓系辦成為我每天得以分享心事、抒發情緒的小小樹洞。尤其是鄭琇文助教與葉嘉安先生，在我碩士班生涯最心力交瘁的時刻，是你們的溫柔與話語承接了我遍體鱗傷的內心，能有今日的研究成果都是因為你們的支持。雖然不曾說出口，但對於兩位內心只有滿滿的感激，未來畢業後想必也將不時懷念起這段寶貴的時光。另外，也要感謝蘇婷節助教與譚艾婷小姐對於碩士班行政事務上的協助，幫忙處理了繁瑣的口試申請與離校手續。

自大學時期加入奈米積體電路與系統實驗室起，很幸運能認識到許多學長、同儕與學弟，並獲得各位的陪伴與支持。尤其要感謝益全學長、子鈞學長自專題以來的教導與協助，尤其是夜半時分在實驗室忙碌時，還能聽到子鈞學長的吉他自彈自唱，為枯燥的研究生活增添不少樂趣。同時更要感謝群榮、宣賀兩位同學，除了研究上互相討論幫忙外，一起在實驗室忙碌、互吐苦水的時光現在看來更是彌足珍貴，謝謝你們一路以來的陪伴與扶持，更包容了我不時的任性。最後感恩佳佑、青霖、皓恩與柏孝學長四位，有了你們讓我最後一年的研究生活也過得十分開心。縱然老師即將離開師大，但想必你們也能互相扶持完成學業，祝福你們！

同時萬分感謝弘勳與弘智兩位，與你們的交情已經無法用三言兩語帶過了，一同經歷的種種事情都令人難以忘懷，謝謝你們一路的相伴。另外還要感謝遠在日本的巧心以及各位電機 110 的同學們：尚德、鼎傑、若同、楷敦、仁翔、汪翰、沃晏、品蓉、梓沂與鈞霖，與你們一同修課、吃飯也為研究生活增添了不少樂趣。最後的最後，想要感謝那個堅持到現在的自己，即使過程跌跌撞撞，甚至也有過無比心碎難受的時刻，卻仍然沒有放棄直到現在，辛苦了！

侯洋守 謹致

國立臺灣師範大學奈米積體電路與系統實驗室

中華民國一一三年一月九日

對 CMOS 金屬化中由靜電放電誘發之電遷移研究

學生：侯洋守

指導教授：林群祐 博士

國立臺灣師範大學電機工程學系碩士班

摘 要

儘管靜電放電與電遷移兩者皆為積體電路可靠度上至關重要的議題，但對於兩者的結合，即由靜電放電引起之電遷移的相關研究卻甚少。然而製程微縮所造成的後段製程金屬化厚度下降，使得金屬的可靠度逐漸受到重視。因此本篇論文旨在探討多次靜電放電對於金屬的影響。實驗採用 CMOS 製程設計多種長度、寬度、厚度與折角角度的金屬作為受測元件，並分析其耐受度與長期可靠度的變化。

研究發現對於會直接影響到電流密度的金屬寬度與厚度，是影響其所能耐受靜電電壓範圍的關鍵，同時折角也會使其耐受度嚴重下降。相對的，金屬長度雖不對耐受度造成直接影響，卻在此被證實將會影響其對於靜電放電的敏感度。同時由於發現了金屬對於靜電放電非常敏感，因此提出透過耐受靜電放電能量而量化金屬敏感度的方法，並預測了其靜電放電耐受度。

此外對於部分經過多次靜電轟擊卻尚未損壞的金屬，本論文也嘗試對其進行電遷移測試。研究結果證實靜電放電不僅會嚴重降低金屬長期使用壽命，其所造成的潛在傷害也會使金屬更加敏感。最後也根據上述的研究提供了進行積體電路佈局時的相關建議，將對於提升積體電路可靠度提供實際幫助。

關鍵字：靜電放電、電遷移、金屬化、後段製程、耐受度預測

Study on ESD-Induced Electromigration in CMOS Metallization

Student: Yang-Shou Hou

Advisor: Chun-Yu Lin, Ph.D.

Department of Electrical Engineering
National Taiwan Normal University

ABSTRACT

Although electrostatic discharge (ESD) and electromigration are both critical issues to the reliability of integrated circuits, there is a need for more research on the combination of the two, ESD-induced electromigration. However, the metallization thickness in the back-end-of-line (BEOL) has decreased due to process scaling, which has gradually attracted attention to the reliability of metal. Therefore, the thesis aims to explore the impact of multiple ESD events on metallization. Metals with various lengths, widths, thicknesses, and bending angles using the CMOS process are designed as the devices under test, and the robustness and long-term reliability change are analyzed.

It is found that the width and thickness of the metal, which directly affects the current density, are the key to the range of failure ESD voltage. At the same time, bending corners will seriously reduce its robustness. In contrast, the metal does not directly affect the robustness, but it is confirmed here that it will affect its sensitivity to ESD. Due to the high sensitivity of metals to ESD, a method that can quantify the metal sensitivity has been proposed through the withstand ESD energy. Furthermore, it can achieve the goal of predicting the ESD robustness of different metals.

In addition, electromigration tests are also attempted on some metals that had not been damaged after multiple ESD events. It is confirmed that ESD will not only seriously reduce the long-term lifetime of metals, but the potential damage caused by it will also make the metal more sensitive. Finally, relevant suggestions for the layout of ESD protection circuits are also provided based on the above research, which will provide valuable help in improving the reliability of integrated circuits.

Keywords: Electrostatic Discharge (ESD), Electromigration, Metallization, Back-end-of-Line (BEOL), Robustness Prediction

