

模封材料處理自動化： 模封材料處理不當對策

■作者：Ernani D. Padilla¹；
Emmanuel P. Birog¹
意法半導體製程工程師

本文旨在發現並消除環氧模壓樹脂 (EMC，Epoxy Mold Compound) 解凍過程存在的缺陷，預防模封材料處理不當事故，例如，用錯模封材料、模封材料未完全解凍或過期。

本文針對高風險問題擬定出模封材料處理自動化解決方案，例如，模封材料追溯條碼、解凍櫃解凍室門禁系統、模封材料狀態自動化監測圖顯，以及批次交易系統升級到連接 EMC 狀態和品名。總結來說，這可以防止因人工作業而導致的判斷失誤。該專案能夠消除可能發生與 EMC 解凍有關之模封材料處理不當問題，並且避免因批次加工不良而造成的潛在經濟損失。

1. 前言

解凍是在塑封成型前 EMC 準備過程中的一個重要程序，可以防止模封材料變質和性能下降，影響積體電路 (IC) 的品質和可靠性。EMC 對外部環境條件敏感，因為固化度受到環境條件影響。

EMC 固化通常分為四個階段，解凍是 EMC 出廠後運輸到倉庫冷藏階段 B 的末段，如圖 1 所示。

為了解凍模封材料，從溫度為 5°C 或更低的冷庫中取出 EMC，經過一個分階段的固化過程，通常是在室溫環境中解凍 24 小時，溫度為 23°C ± 3°(21°C 至 24°C)，相對濕度 40 至 55% RH(41% 至 51%)，如圖 2 所示。此後，按照規定的車間壽命 (floor life)，將 EMC 裝入壓模機壓模。

車間壽命一旦到期，則認為 EMC 已過保存期限，應妥當處置。解凍的主要目的是防止水汽進入密封袋。如果不除濕，模封材料將會導致加工缺陷，例如，封裝空隙、起泡或不完整。在後期封裝或客戶製造過程中加熱時，水分還會引起可靠性問題，例如，焊盤或引線腐蝕、分層或爆米花現象。

1.1 模封材料處理不當

EMC 處理不當包括用錯 EMC 料、EMC 過保存期限和 EMC 不完全解凍。用錯 EMC 料是指使用與產品要求不同的 EMC，這可能是材料類型錯誤或顆粒尺寸不對。EMC 過保存期限是指使用了超出車間壽命規定的材料。不完全解凍是指解凍時間尚未

圖 1：EMC 的四個固化階段

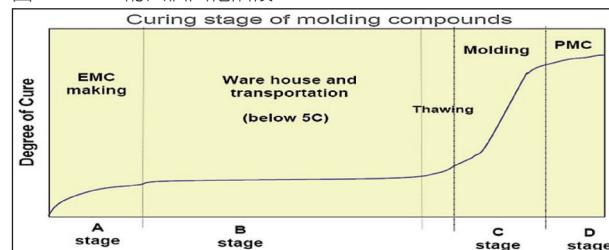


圖 2：模封材料處理流程

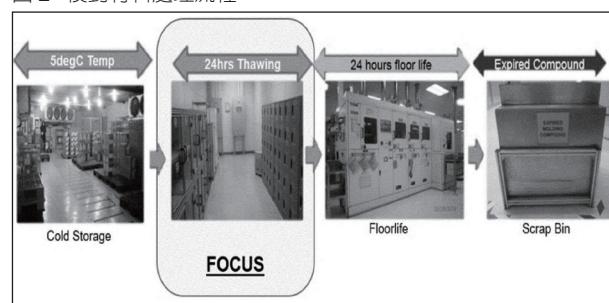


圖 3: 截至 2019 年第一季模封材料處理不當發生趨勢

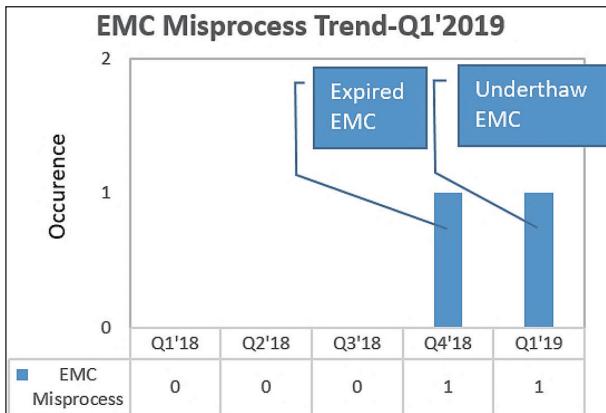


圖 4: 不完全解凍模封材料加工不良品之可靠性測試的 SAM 圖像



到時提前使用材料。

從 EMC 處理不當事故發生趨勢看，2018 年第四季記錄了 1 次過保存期限 EMC 的加工不良事故，2019 年第一季則發生一次解凍不完全事故，如圖 3 所示。

表 1: 模封材料顆粒顏色標識表

| 顏色標識 | EMC 品名 | 規格 | 封裝 | EMC 材料代碼 |
|---------------|------------|------------|---|----------|
| Cyber pink | Compound A | 16mm/12.5g | VFDFPN8 | 5ST97516 |
| Cyber green | | 16mm/7.7g | THUQFN76/HUQFN88/UFDFPN8 | 5ST00641 |
| Cosmic Orange | | 16mm/11g | HVQFN/THUQFN76/HUQFN88 | 5ST09531 |
| Orange | | 16mm/9.5g | VFDFPN12/UFQFPN48 | 5ST07832 |
| Aqua | Compound B | 16mm/10.8g | VFDFPN12/UFQFPN48 | 5ST29209 |
| Peach | | 16mm/11.8g | WPLGA88 | 5ST97226 |
| Gray | | | VPLGA88/VFQFN48-2D | 5ST97227 |
| Cyber Orange | Compound C | 14mm/6.3g | LFBGA273 | 5ST07978 |
| Turquoise | | 14mm/7.3g | HWQFN48R/56, TFBGA36/48/135/141, LFBGA49,uTFBGA25, VFBGA48/100 | 5ST00111 |
| Light Pink | Compound D | 14mm/7.3g | TFBGA169/240/388, LFBGA296/240/340 | 5ST97038 |
| Ivory | Compound E | 14mm/7.3g | HTQFN/HVQFN40-06/ TFBGA44/88, HWQFN56 | 5ST00261 |
| Cyber Yellow | Compound F | 14mm/6.3g | LFBGA273 | 5ST18563 |
| Gamma Green | Compound G | 0.15-1.0 | SCALPAK | 5ST18591 |
| Green | Compound H | 0.15-2.0 | MEMS/COL | 5ST18423 |

圖 5: 顆粒品名標籤

| PELLET/GRAINULE IDENTIFICATION | | |
|----------------------------------|------|------|
| Mold Machine No. | | |
| Compound Type | | |
| Pellet/Granule Size | | |
| Compound BNC | | |
| Compound Lot No. | | |
| Package Type | | |
| Withdraw Start | Date | Time |
| Floor Life Start | | |
| Expiration End | | |
| Loaded by: Ref Specs: 2197958 | | |

針對因模封材料處

理不當而造成的加工不良品進行可靠性測試，結果顯示晶片頂部和晶片焊盤區域有分層，如圖 4 所示。所有受影響的生產批次做報廢處理，避免客戶投訴。

1.2 現行模封材料處理不當防控措施

以前 EMC 處理不當防控措施是採用顆粒顏色標識表，按照 EMC 類型和顆粒尺寸為每種模封材料指定一個唯一顏色標識，如表 1 所示。圖 5 則表示是一個用不同顏色標識的顆粒品名標籤，填寫目的是指示模具機器編號、模封材料類型、顆粒規格、模封材料 8NC、模封材料批次號、封裝類型，這些資訊是防止用錯誤 EMC 材料的關鍵。填寫的項目還包括出庫起始日期時間、車間壽命開始和結束日期

時間。這些項目是判斷模封材料是否完全解凍或過保存期限的關鍵資訊。在解凍區內將小標籤貼在模封材料包裝袋或容器上。

在模塑成型加工過程中，模具操作員在每次換班交接時和更換 EMC 後，都應在模具監測日誌上記錄 EMC 的詳細資訊，包括材料代碼、批次號、車間壽命和出廠保存期

圖 6: 模具監測日誌表

| APPENDIX 8 AUTOMOLD MONITORING LOGSHEET | |
|---|-------------|
| AUTOMOLD MONITORING LOGSHEET | |
| Machine Number | |
| Date Shift | |
| Time | |
| Operator No. | |
| Mold Compound Inspection | |
| Compound Material Code | |
| Compound Name | |
| Expiration Date/Time | Valid Life |
| Expiration Date/Time | Valid Life |
| Mold Tool Record | |
| Tool serial No. | |
| Mold Shot Count | |
| Check travel profile limit if activated | Tech Opw |
| Process Parameters (use actual reading of parameter) | |
| Package Type | NPC |
| Transfer Time | |

限，如圖 6 所示。

1.3 解凍過程自動化

人工實施的模封材料處理不當防控措施很容易在填寫顆粒品名標籤時出錯，這些表格處理不當會導致錯料或漏料。更嚴重的是，操作員因為一時疏忽大意或不遵守操作規定，誤用已知未完全解凍或過保存期限的材料。

我們設計了一個詳細的解凍流程圖，以尋找現有防控措施的不足之處，防止處理不當事故發生。根據發現的缺點，我們研發出了自動化解凍解決方案，以防止解凍過程發生人為錯誤或違規現象。自

動化專案要求 EMC 供應商將包裝標籤升級到條碼標籤，並建立一個電子標籤列印系統，列印不乾膠標籤，代替人工填寫顆粒品名表。為防止生產人員取出未完全解凍或過保存期限的待處理材料，我們的解決辦法是開發一個直到完全解凍後才能開門的自鎖解凍櫃。為了控制進入解凍室的通道，解凍室只有授權人員才能進入。解凍櫃電子流程圖將有助於妥善地管理解凍室內的模封材料狀態。在生產車間應該有一個自動停機系統，如果用錯料、用了解凍不完全，或是過保存期限的材料，系統可以停止一個生產批次的加工作業。表 2 列出了 EMC 處理流程圖。

1.4 相關文獻綜述

受工業 4.0 啓發，ST 卡蘭巴工廠所屬的後段製程造技術計畫的目標是在未來幾年中開發最先進的製造環境。從 2018 年到現在立項 43 個，落地 22 個。隨著機器人、大數據分析、物聯網 (IoT) 和可追溯性等技術進步，工業 4.0 可以提升企業的生產率，並維持市場競爭力，如圖 7 所示，這些技術是這個

表 2: EMC 處理流程圖

| EMC 處理步驟 | 故障模式 | 潛在原因 | 製成缺陷 |
|------------|--------------------------|-----------------------|--|
| 從冷庫中取出 | 出廠保存期限過期 過期資訊傳輸不暢 | 無 — 在倉庫系統中，保存期限 | 無 |
| 顆粒 ID 生成 | 用錯 EMC 料，解凍不完 全，過保存期限 | EMC 資訊填寫錯誤 | 人工填寫資訊 |
| | | 貼錯 ID 標籤 | 包裝上標籤粘貼不牢固，用膠帶粘 貼 ID 標籤 |
| | | ID 標籤丟失或脫落 | |
| 在櫃內解凍 EMC | 用錯 EMC 料，解凍不完 全，過保存期限 | 貼錯 ID 標籤 | 包裝上標籤粘貼不牢固，用膠帶粘 貼 ID 標籤 |
| | | ID 標籤丟失或脫落 | |
| | | 從解凍櫃中意外取出 EMC | 解凍期間不能確保 EMC 的安全 分區承包管理無效 模封材料狀態可見度低 |
| | | | |
| | | | |
| 在生產中使用 EMC | 用錯 EMC 料 | 貼錯 ID 標籤 | 包裝上標籤粘貼不牢固，用膠帶 粘貼 ID 標籤 |
| | | ID 標籤丟失或脫落 | |
| | | 批次被掉換或裝錯批次 | 批次與 EMC 對照檢查不是每個批 次都檢查，人工作業 |
| | | 被掉換的 EMC 未傾倒 | 人工作業 |
| | | 從解凍櫃中意外取出 EMC | 人工作業 |
| EMC 更換 | 用錯 EMC 料或過保存期 限的料 | 未傾倒過保存期限的或被掉換的 EMC | 人工作業 |

圖 7: ST 後段製程技術自動化計畫



計畫的主要內容。

按照這個計畫，本文將探討以大數據分析、物聯網感測器和可追溯性為中心的工業自動化。用掃描條碼取代人工填表是徹底解決材料處理不當的一個重要對策。下面的一項研究討論了材料標籤的發展演變。

^[3] 智慧工廠被定義為高度靈活，而且能夠利用自運營和生產系統的連網工廠。在這種情況下，貼標籤可能是最受歡迎的物件識別追蹤方式，從純手寫標籤到條碼，再到二維碼和 RFID 標籤，標籤在過去幾年中發生了巨大變化。

有幾種標籤技術可用於自動識別工業產品。條碼是最基本的技術，基本上就是用圖形方法表示的前面第一節中提到的 GTIN 代碼。讀取條碼資訊需要讀取器和視線 (LoS)。另外，條碼和讀取器之間還需要較短的通訊距離 (最多幾十公分)。儘管有這些要求限制，條碼在許多工業應用中還是非常有用的，並且識別速度明顯高於傳統人工識別方法。此外，產生條碼成本很低，標記物件只需要條碼產生軟體和印表機。儘管在工業 4.0 所描繪的自動識別情境中，似乎不需要條碼，但是在降低成本、讀取距離較近或讀取位置非常特殊的工業環境中，條碼仍然有武之地。

條碼和二維碼通常用於庫存應用、產品追蹤或物資管理，讀取標籤資訊有視線限制，無法與物品交換資訊，顯然，無法主動報告物品狀態。圖 8 所示是直到智慧標籤出現之前標籤技術的發展歷程。

易變質材料控制系統，也就是模封材料控制系統，有一個包含所有的 EMC 取用資訊的資料庫，並與製造執行系統 (MES) 連線。該系統與 MES 系統

圖 8: 工業標籤技術的發展歷程

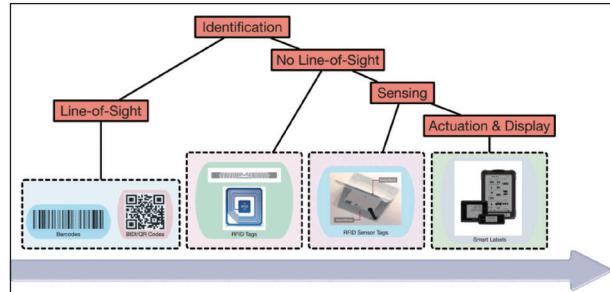
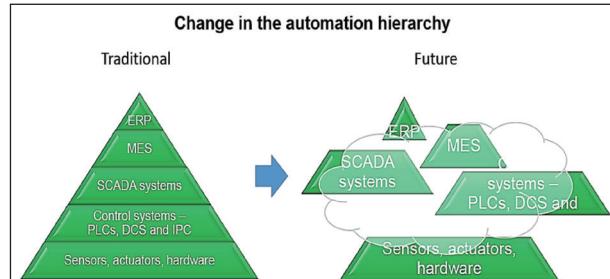


圖 9: 自動化層次結構的變化



對照檢查將有助於決定批次加工作業決策。自鎖解凍櫃系統的感測器、致動器和硬體由模封材料控制系統的 PLC 控制。

^[1] 自動化層次結構的發展趨勢是從傳統的金字塔概念朝雲端概念發展，如圖 9 所示，在雲端概念中，所有系統都能互動。

本文論述結合了我們的 FW2 製造執行系統 (MES) 系統改進之處，因此，根據現代 MES 未來發展趨勢評估我們當前系統的性能有利於優化系統。

^[2] 基於分散式邏輯的現代製造執行系統 (Manufacturing Execution System, MES) 為開發工業 4.0 模型提供了一個開發平台和一個自然垂直整合途徑。整合到「上層」的企業資源規劃 (ERP) 系統中，同時監控「下層」的生產流程，MES 的效果始終是最好的選擇。因為網路物理系統 (Cyber-physical System, CPS) 和網路物理生產系統 (Cyber-physical Production System, CPPS) 相互直接通訊，MES 可以觸發業務規則或工作流程，管理整個生產過程。例如，作為高階品質抽檢策略的一部分，品管過程可能要求設備執行更多的驗證步驟，無誤後再繼續執行後面的加工作業，這就要求業務規則中具備通訊功能，因此在設備繼續執行其生產過程之前，不會繞過品管過程。

在工業 4.0 中，程序控制 (Statistical Process Control, SPC) 是另一個依賴良好的系統垂直整合度的領域。SPC 要求長期從出入工廠的大量材料中收集資料。例如，如果 CPS 中的設備意識到需要收集可測量的變數，則根據 SPC 規則，確認變數是在限制範圍內，如果不在限制範圍內，則可能需要採取修正措施，在 CPS 上層系統中觸發修正操作標誌。MES 依然是達到此目的的理想平台。

在 ST 卡蘭巴工廠，我們的 FW2 製造執行系統整合了這些驗證程序和 SPC 控制。進一步提升系統整合度，確保加工過程在正確的時間使用正確的材料，對於防止加工不良至關重要。本文將在後續詳細論述探討如何解決這一問題。

2. 材料與方法

2.1 材料

為了自動識別顆粒，材料供應商需要升級包裝標籤條碼，增加材料品名、型號、批次號、製造日期、保存期限、數量和包裝箱號。掃描器讀取條碼資訊並將其傳輸到條碼印表機，按照規定格式在標籤貼紙上列印資訊，如圖 10 所示。

圖 10:a) 條碼掃描器，b) 條碼印表機和標籤貼紙，c) 模封材料供應商標籤

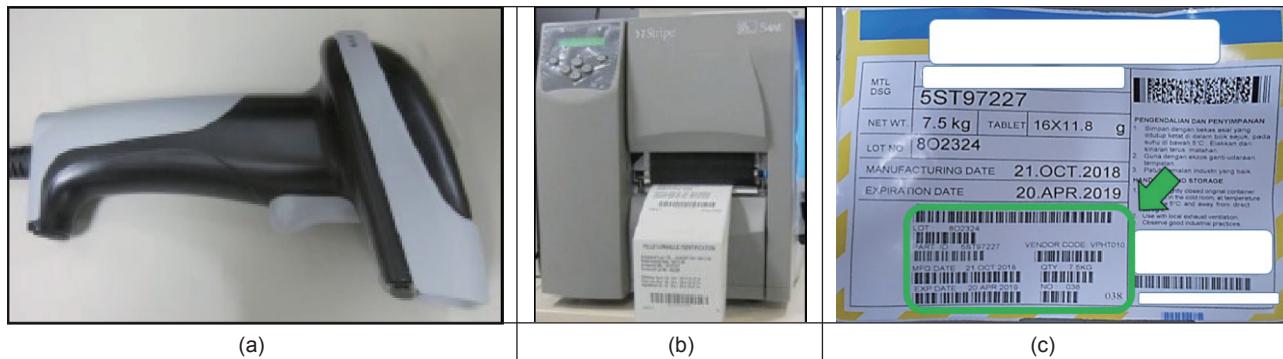
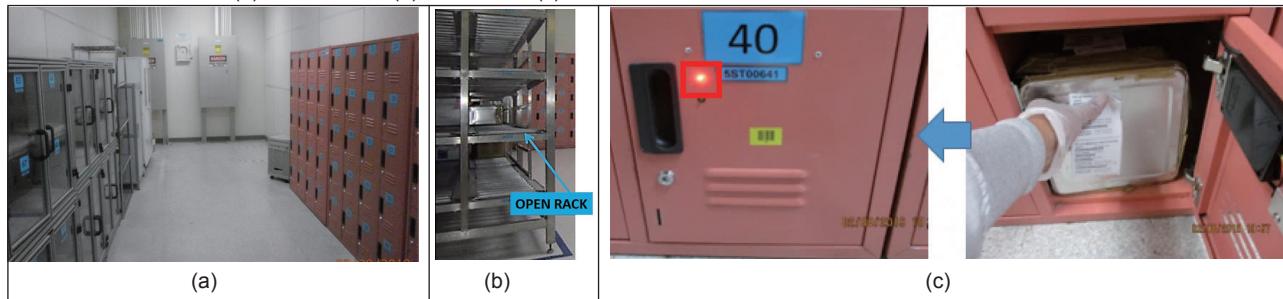


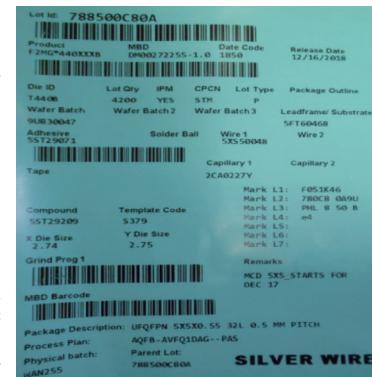
圖 12: EMC 解凍存放櫃 (a) 開放式櫃子，(b) 開放式架子 (c) 自鎖封閉式櫃子



生產批次追溯

資訊又稱行程卡，卡上的條碼包含 EMC 資訊，用於在批次交易期間，對照檢查當前裝入設備的 EMC。如圖 11 所示，在壓模過程中，行程卡上使用相同的條碼格式，如圖 11 所示。

圖 11: 在 ST 卡蘭巴工廠使用的行程卡



2.1.1 硬體

將 EMC 解凍存放方式從開放式解凍架或解凍櫃換成內建自鎖系統的封閉式解凍櫃，以防止未完全解凍或已過保存期限的 EMC 被意外取出。每個櫃門位置都有一個監測 EMC 狀態的 LED 指示燈，如圖 12 所示。

為了防止未授權人員進入解凍室，在解凍室的門上安裝了門禁。如圖 13 所示，。

圖 13: 解凍室門禁

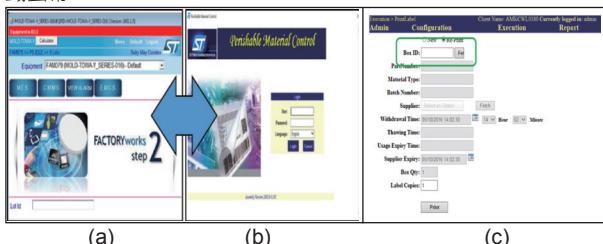


2.1.2 自動化軟體和升級

為了讀取 EMC 供應商的標籤，列印顆粒品名標籤，我們開發了一種稱為易變質材料控制 (Perishable Material Control, PMC) 的

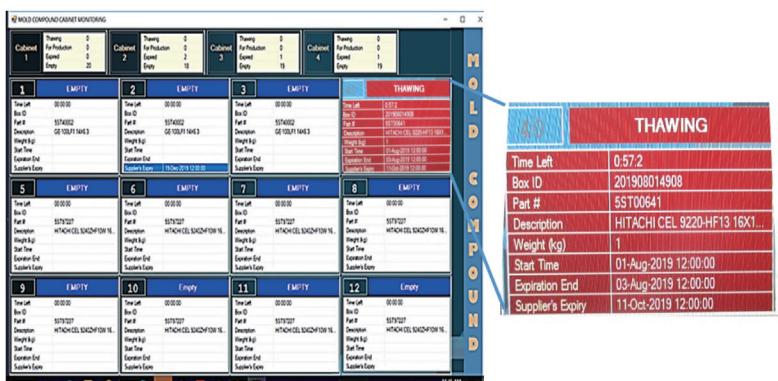
軟體，如下圖 14b 所示。在列印輸出中有一個稱為盒子 ID 的唯一代碼，這個資訊可以用作軟體與其他製造系統的介面，如圖 14c 中所示，因為已經透過電子方式完成資訊登入，所以不再需要人工填寫模封材料取出日誌表。製造管理系統 (Manufacturing Management System, MES) 使用 Factory Works 2(FW2) 系統，該系統已升級到整合 PMC 資料，有對照檢查功能，如圖 14a 所示。

圖 14:(a) FW2 系統 (b) PMC 易變質材料控制 (c) PMC 的列印標籤螢幕



模封材料解凍櫃監測應用程式是我們開發的另一個軟體，安裝在解凍室的 PC 上，用於控制 EMC 解凍櫃自鎖系統，如圖 15 所示。在 EMC 解凍完成後，軟體會自動打開櫃門鎖。模封材料準備就緒後，透過提交電子取料申請表取走模封材料。軟體還透過圖形介面為使用者顯示每種模封材料的狀態和解

圖 15: 模封材料解凍櫃監測系統

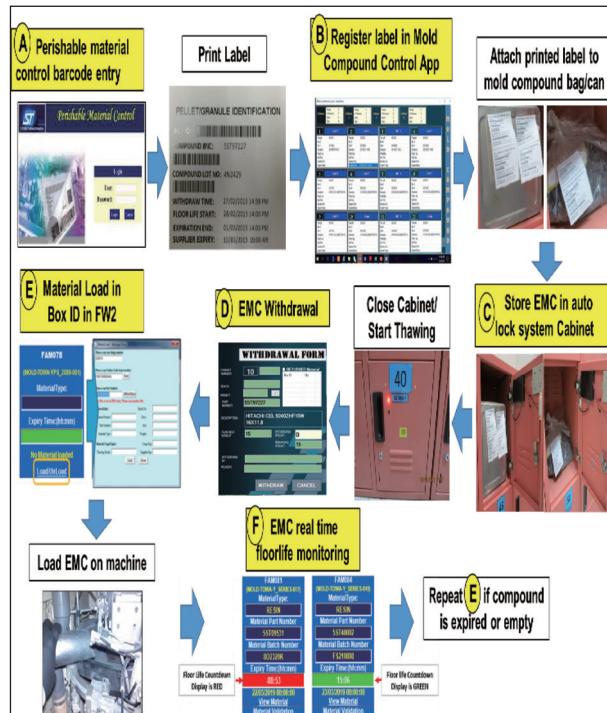


凍櫃位置。

2.2 Procedure 測試過程

在所需的材料、硬體和軟體都準備到位後，試

圖 16: EMC 處理過程自動化流程



運行系統，檢查自動化功能是否準確，是否符合預期目標，如圖 16 所示。

對於 PMC 條碼列印，對照模封材料標籤檢查列印標籤，核實掃描資訊是否正確無誤。核實在 PMC 中所有已交易的 EMC 是否已登錄到 EMC 電子日誌中。

在模封材料解凍櫃控制應用中，對掃描的條碼

資料執行相同的對照檢查。螢幕上的狀態和位置與自鎖解凍櫃的實際情況相互對照驗證，檢查櫃門開啓是否符合 24 小時要求，核實取料申請表中所有已處理的 EMC 是否列在 EMC 電子取料日誌中。

在模封材料顆粒盒 ID 錄入系統後，升級後的 FW2 系統能夠檢查生產批次是否遇到追蹤錯誤。如果材料即將過保存期限，系統將會示警，提醒人員檢查。如果

模封材料已過保存期限，系統將關閉生產批次追蹤。

3. 測試結果與討論

3.1 易變質材料控制資料準確性測試

比較 EMC 供應商實物標籤與易變質材料控制系統條碼列印輸出，所有輸入資料都相同。兩個標籤的實際圖像如下圖 17 所示。

使用雙比率檢驗方法比較人工填表和 PMC 之間的顆粒標籤資訊準確度。在 95% 可信度下，P 值為 0.0434，人工填寫和 PMC 之間存在顯著差異。使用 PMC 沒有記錄到任何偏差，詳見圖 18。

3.2 自鎖櫃系統功能測試

在開放式解凍架和自鎖解凍櫃系統之間，使

圖 17: (a) 供應商的模封材料標籤實物，(b) 同一個模封材料標籤的 PMC 列印標籤實物

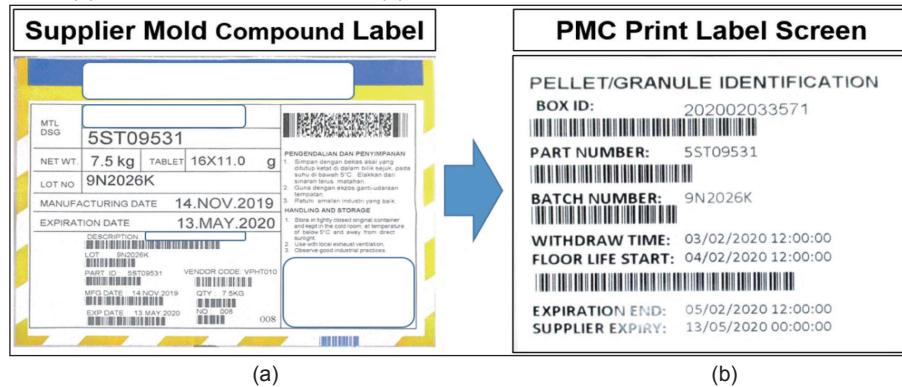


圖 18: 人工填表和 PMC 標籤之間的雙比率準確度測試

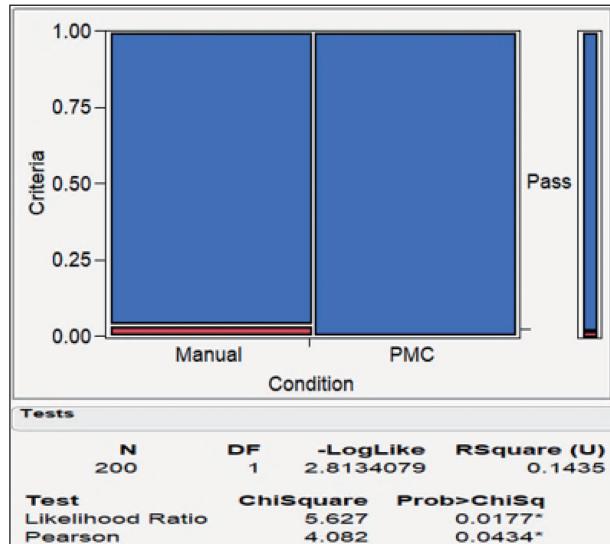
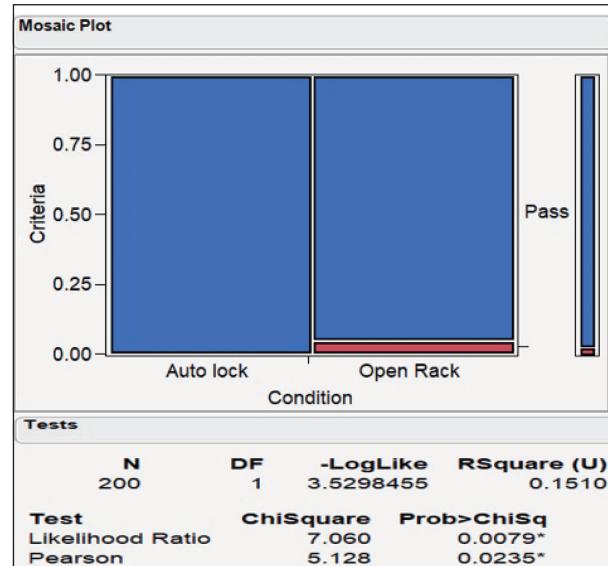


圖 19: 方式解凍架和自鎖櫃之間的雙比率準確度測試



用雙比率檢驗方式比較解凍狀態和標籤資訊的準確度。在可信度為 95%，P 值為 0.0235 時，開放式解凍架和自鎖解凍櫃系統之間存在顯著差異。使用自鎖櫃系統沒有記錄到偏差，詳見圖 19。

3.3 FW2 系統升級測試

FW2 系統升級後能夠提供示警時間和禁止交易的偏移時間和保存期限過期警示，如圖 20 所示。

從 2019 年第 2 季開始實施所有自動化解決方案至圖 21 所示時間，沒有出現 EMC 處理不當記錄。該專案能夠消除與 EMC 解凍有關的模具加工不良問題，從而避免了生產批次報廢而造成的經濟損失。

3.4 建議

建議將本文提出的適用於 EMC 處理的所有自動化方法擴充到其他直接和間接材料。由於 FW2 升級僅禁止生產批次交易，但實際上機器將繼續使用 EMC，因此需要進一步在機器級別對 EMC 進行防錯處理。模具系統採用與 PMC 相同的原理，可以對

圖 20: FW2 預警顯示實圖

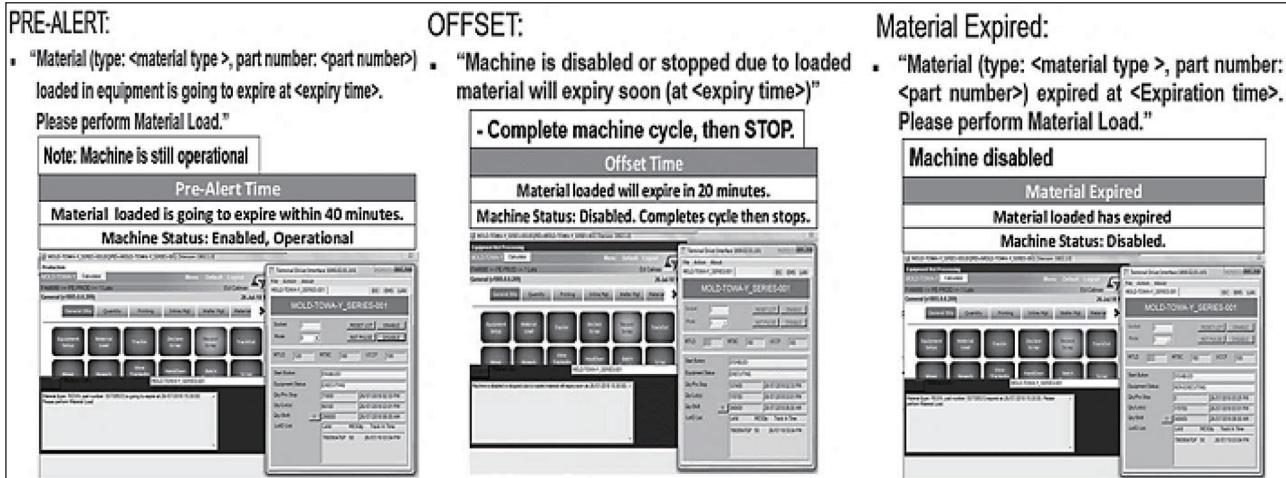
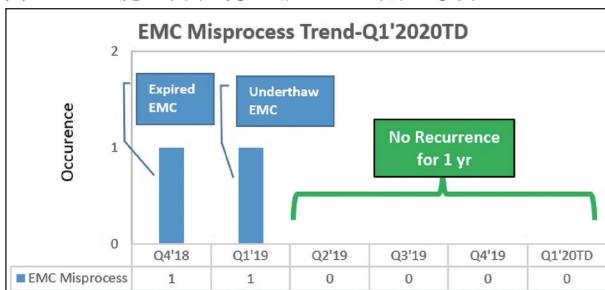


圖 21: EMC 處理不當趨勢，截至 2020 年第一季度



照檢查材料和配方是否匹配，發現從機器資料庫載入的過期 EMC，並觸發自動傾倒操作。目前正在與模具設備製造商討論這一概念。

4. 結論

PMC 易變質材料控制系統省去了在解凍操作時 EMC 追溯性資訊的人工填表作業，並且解凍準確度高，資料庫可用於 FW2 等其他系統。

模封材料控制系統和自鎖解凍櫃在整個解凍週期內確保 EMC 和標籤安全，並具有準確的位置和狀態可追溯資訊。

升級的 FW2 製造執行系統能夠與易變質材料控制系統的資料庫連線，提供預警、禁用和關閉機器功能，一旦發現使用錯誤的 EMC、解凍不完全或過期的 EMC，就會限制批次交易。

這些自動化模封材料處理方法徹底解決了模封材料處理不當問題，從而避免了潛在的批次報廢造

成的經濟損失。

免責聲明

用於本研究的產品是我們研究領域和國家 / 地區中普遍且主要使用的產品。本文作者和產品生產者之間絕對沒有利益衝突，因為我們使用這些產品不是為了尋求法律訴訟，而只是為了提升知識水準。而且，這項研究不是由產品生產廠商資助的，而是作者個人的研究活動。

參考文獻

- Francisco Almada Lobo , “Industry 4.0: What does it mean to the semiconductor industry?”, Solid State Technology Journal, Dec 2016, pp 21-22
- Jeremie Bouchaud, “From Sensors to the Cloud: IoT in Manufacturing”, Smart Technologies Impacting Industrial Market Dynamics Conf, 26 April 2017, pp 14-15
- Tiago M. Fernández-Caramés & Paula Fraga-Lamas, ”A Review on Human-Centred IoT-Connected Smart Labels for the Industry 4.0”, IEEE Access, pp1, 5-6, May 7, 2018 [CTA](#)