

俄烏衝突後的俄羅斯半導體產業 及中俄半導體合作概況

◎楊永年／中華經濟研究院第一（大陸經濟）研究所 計畫輔佐研究員

俄羅斯在2022年與烏克蘭發生衝突後，西方國家對俄羅斯發動制裁，試圖削弱俄羅斯的經濟及戰爭潛力，俄羅斯的半導體產業因對軍工產業有重要的支持作用亦遭重點制裁。在此背景下，俄羅斯的半導體產業轉而尋求中國大陸作為合作替代對象，期望藉此維持技術存在及軍工企業順利運行。

關鍵詞：俄羅斯、半導體、中俄合作、地緣政治

Keywords: Russia, Semiconductor, China–Russia Cooperation, Geopolitics

自2022年2月24日俄羅斯總統普丁（Vladimir Putin）宣布對烏克蘭發動「特別軍事行動」後，西方國家隨即對俄羅斯主要半導體企業，如貝加爾電子（Baikal Electronics）、莫斯科中央設計局（下稱MCST）、米克朗（Mikron Group）、安斯特雷姆-T（Angstrom-T）等發動制裁，我國的晶圓代工大廠台積電也隨即跟進。在此情況下，俄羅斯政府採取若干措施扶持境內半導體產業，以支撐其軍工所需，俄羅斯亦加強與中國大陸的合作，尋求技術突圍。

俄羅斯半導體產業概況

前蘇聯在1960年代發展微電子理論時，特別重視可應用於軍事的真空電子管微縮技術，而對積體電路發展相對忽視。1991年蘇聯解體後，大量的微電子企業及研究設施因「休克療法」缺乏資金支持，導致技術斷層和人才外移。在俄羅斯政府對電子半導體產業投資不足，西方國家又有技術、設備出口管制的情況下，俄羅斯半導體產業技術落後、資金不足，總體競爭力薄弱，但仍在軍工領



域扮演要角。

一、半導體原材料

1. 矽材料

尼托爾（Nitol Group）為俄羅斯唯一的半導體級多晶矽生產商，其技術能力能生產 6N 級（99.999999%）純度的矽材，與國際主流的 11N 級相比，落後達 15 年以上。該公司年產量僅約 500 公噸，雖然能供應俄羅斯約 70% 的半導體級矽，但僅足以滿足國內 10% 左右晶片製造的需求，不足的部分多仰賴中國大陸、越南等地的灰色管道進口。

摩諾克里斯（Monocrystal）則為另一家重要的矽材供應商，該公司為全球領先的人造晶體生產商，後涉及半導體材料領域。在 2023 年量產 6 英吋的碳化矽襯底，並與俄羅斯國有企業—俄羅斯國家技術集團（下稱 Rostec）麾下的俄羅斯電子集團（下稱 Ruselectronics）合作，開發軍用碳化矽功率器件¹。另也生產單晶矽，但切割精度落後於國際標準，且其原料高度依賴中國大陸的隆基綠能供應。

俄羅斯的半導體原材料，其提煉純度、產量、生產設備全面落後，並依賴前蘇聯軍工體系的需求維繫其生存。俄烏衝突後，俄方轉透過與陸企合作以緩解短期危機，但因技術落後，而仍難以融入中國大陸的半導體供應鏈。

2. 特種氣體

半導體產業依賴高純度氖氣、氫氣、氬

氣等特種氣體，這些氣體多為天然氣開採加工，或是煉鋼過程中提取的副產品。俄羅斯受益於其作為天然氣及鋼鐵生產大國的地位，而在全球特種氣體市場中具重大影響力。自俄烏衝突以來，其氖氣產量占全球比重已從 2021 年的 30% 上升至 2024 年的 45%。然而，俄羅斯高純度氣體的精煉技術較差，且因制裁而難以取得先進設備，便轉向供應亞洲市場以維繫市場地位，並也更依賴中國大陸的精煉技術。

俄羅斯天然氣工業股份公司（Gazprom）為該國特種氣體的重要生產商，主要供應軍工和醫療領域。該公司於 2023 年 9 月與中國船舶重工集團簽署合作協議，在聖彼得堡建立高純度氖氣精煉廠，用以供應半導體製造及雷射激光產業²。

此外，俄羅斯的鎳業巨頭諾里爾斯克鎳業（Norilsk Nickel，下稱諾鎳公司）則在鎳的冶煉過程中提取氫氣，並於 2023 年與中國杭氧集團建設高純度氫精煉廠，計劃在 2025 年第一季供應米克朗等俄羅斯半導體企業³。

3. 稀土金屬

俄羅斯稀土金屬資源的重要企業，主要有國有企業 Rostec 麾下 VSMPO-AVISMA、烏拉爾稀土冶金公司（下稱 Uralredmet）等，以及其他重要礦企，如埃羅莎（Alrosa）、諾鎳公司、俄鋁（RUSAL）等。

VSMPO-AVISMA 為全球最大的鈦金屬生產商，其生產鈦、鈮等稀土金屬。諾鎳公

司在開採鎳鈷礦的過程中，也開採鑛系元素（包括鑛、鈾）。俄鋁為全球第二大的鋁業公司，其開採鋁礦時也附帶開採鎳。埃羅莎作為鑽石產業巨頭，當前正試驗性提取鈾、鈾等礦產。Uralredmet 則為稀土分離及加工的企業。

前述企業開採的礦物，主要供應俄羅斯的半導體及軍工企業，也供應中國大陸、印度等國。然而，俄企的稀土金屬開採及分離技術主要依賴蘇聯時期的濕法冶金工藝，分離純度稍遜於國際標準，6N 級以上仍需出口至中國大陸精煉⁴。

由於受西方制裁影響，俄企無法獲取先進的高效萃取設備，並且被排除在國際稀土協會（REIA）之外，而無法參與全球技術標準制定，進一步在產業生態遭孤立。長期而言，俄羅斯可能僅能在全球供應鏈中扮演原材料供應角色。

二、晶片設計

在晶片設計環節，俄羅斯較重要的實體有 MCST、貝加爾電子，以及米蘭德爾（Milandr）。這些企業皆遭西方國家制裁影響，導致用於模擬電路的 EDA 軟體授權受到限制，因此設計晶片性能較為落後，並極其仰賴政府訂單及補貼。由於存在進一步制裁的風險，俄羅斯的晶片設計業者逐漸減少使用 ARM 架構進行開發，改採 RISC-V 等開源度較高的架構。

1. MCST

MCST 成立於 1992 年，由蘇聯時期的電子工業研究院（ITMiVT）團隊重組而成，為 Ruselectronics 控股之企業，主要產品為厄爾布魯士（Elbrus）系列處理器，供應俄軍的防空系統、電子戰設備，以及俄羅斯國產的超級電腦、政府部門的服務器和終端設備。當前最新產品為 2021 年開發的 Elbrus-16S，原採用台積電 28 奈米製程代工，遭到制裁後，據推測可能轉由中芯國際以 40 奈米製程代工⁵。該公司約 80% 的收入來自於俄羅斯的國防訂單，在民用市場的滲透率極低。

MCST 雖為西方制裁下俄羅斯唯一可選的高性能處理器供應商，但其產品性能仍無法完全替代進口設備。為因應情勢，該公司規劃在 2025 年推出基於 RISC-V 架構的 Elbrus-32S 處理器，並尋求融入中國大陸主導的開源系統。

2. 貝加爾電子

貝加爾電子於 2012 年從開發超級電腦的 T-Platforms 拆分成立，為俄羅斯工業和貿易部列名的戰略企業，2022 年起亦被列為進口替代計畫的核心企業之一。

貝加爾電子在 2020 年推出基於 ARM 架構的 Baikal-M 處理器，原採用台積電 28 奈米製程代工，在 2022 年遭到制裁後，據推測可能透過中芯國際以 40 奈米製程代工。在 2023 年為推動本土化生產，改以米克朗的 65 奈米製程代工，主要用於政府機構。其 2023 年營



收約有 70% 來自政府採購訂單，少量出口至白俄羅斯、伊朗等。該公司同年得到俄羅斯政府直接投資基金（RDIF）注資，用於開發 RISC-V 架構及建置本土生產線。

3. 米蘭德爾

米蘭德爾為俄羅斯重要的軍用航天半導體設計公司，產品主要為抗輻射晶片、軍用 DSP 晶片、電源管理晶片等。其主要客戶包括俄羅斯航天集團（Roscosmos）及俄羅斯國家原子能公司（Rosatom），軍用業務占其營收達到近 80%。

三、晶片製造

俄羅斯的晶片製造企業在製程和產能皆較為落後，最先進的製程僅達 65 奈米，勉強能滿足俄羅斯軍工業的訂單需求。由於長期遭受西方國家的制裁，難以獲取先進設備及技術。俄烏衝突後，無論與西方國家或中國大陸相比，其技術代際間的差距進一步擴大。

儘管俄羅斯官方透過國產替代政策提供政府採購、補貼、融資優惠等支持，但受限於技術落後、且產能有限，再加上俄羅斯的民用市場需求不高，故其盈利能力仍低落，長期處於高度虧損。

1. 米克朗

米克朗成立於 1964 年，為前蘇聯分子電子科學研究機構（NIIME）贊助成立。該公司為俄羅斯最大的晶片製造商，同時也是俄羅斯少數具備封裝測試能力的企業，不過其

技術水準僅有傳統引線鍵合（Wire Bonding）程度。

米克朗主要代工生產電子票卡、工業控制等晶片，以及低端軍用處理器。其製程涵蓋 250-65 奈米，月產能大約為 5 千片 8 英寸晶圓片⁶。該公司自 2014 年以來便遭到西方國家制裁，儘管 Ruselectronics 向其注資，助其將製程技術推進至 65 奈米，不過仍無法滿足民用市場對 AI 及 5G 等先進晶片的需求。

米克朗當前試圖透過第三方管道取得中國大陸的半導體設備，以提升其 65 奈米製程的良率，並計畫朝 40 奈米的製程節點進行開發，長期目標則是在 2030 年達到 28 奈米製程水準。不過在缺乏深紫外線（DUV）曝光機的情況下，其設定目標的可行性並不高。

2. 安斯特雷姆 -T

安斯特雷姆 -T 前身為 1963 年成立的精細技術研究所（NIITT）和安斯特雷姆工廠，1993 年私有化後重組為安斯特雷姆，並切入民用領域。此後在 2017 年因債務危機被俄羅斯國有銀行 VEB.RF 接管，隨後重組為安斯特雷姆 -T。其主要依賴蘇聯時期留下的 250-130 奈米製程的 6 英寸晶圓產線，並從中國大陸企業購買二手設備來維繫基本生產，難以升級至更高的製程節點。

2021 年安斯特雷姆 -T 曾從臺灣聘請自聯電離職的技術專家，試圖衝刺 130-90 奈米製程⁷。2022 年該公司再被列入美國制裁名單，徹底失去西方設備與技術支持，並於 2024 年

12 月，因無力償還債務而宣告破產⁸。

中俄半導體合作模式概況

中俄雙方基於低端替代及突圍的前提，在半導體合作上各有所求。俄羅斯希望透過合作，彌補在設計、製造及設備等方面的缺口，建構「去西方化」的半導體產業鏈，維持軍工產業所需技術的自主性，並利用陸企的全球供應鏈網路採購設備及材料。

中國大陸方面，首先基於地緣政治情勢考量，於技術層面擴大對俄影響力，藉此換取能源及政治支持。在商業利益，則透過拓展俄羅斯市場來消化成熟製程半導體的產能，並藉助俄企提升設備技術迭代速度。

據此，綜整雙方的合作策略可概括為「技術互補」、「資源整合」、「規避制裁」，以及「戰略投資」四個樣態。

一、技術互補

中國大陸在半導體產業雖仍在追求突圍，但其產業鏈上各領域都有企業參與，已涵蓋各主要環節，整體相較於其他非西方國家仍較先進。俄羅斯則具有豐厚的微電子、光學等技術儲備，並且原材料蘊藏豐富，更因為衝突情勢而產生較大的軍工需求。

美國戰略與研究中心（CSIS）便指出，上海微電子與貝加爾電子在 2021 年規畫投入 2.5 億美元，聯合開發 90 奈米曝光機，計劃在 2023 年完成原型機，並於 2025 年實現量產，以供應俄羅斯市場⁹。

此外，陸企也向俄企供應半導體設備，藉此提高自家產品的使用率，及獲取反饋改良自家設備產品。販售二手設備者，則藉此回收部分資金。據悉，北方華創可能向米克朗、安斯特朗姆 -T 提供刻蝕積及沉積設備，不過為規避制裁並沒有提供最先進的設備¹⁰。

二、資源整合

俄羅斯在用於半導體的特種氣體具一定程度市占率，並擁有相關的稀土金屬原料儲備。不過，由於俄企缺乏先進冶煉設備，需輸往中國大陸精煉。其中，用於半導體的部分原材料，則是此一過程中產生的副產品。

舉例來說，Uralredmet 便透過由俄方提供初階礦物，中國大陸的北方稀土公司提供分離技術的方式，進行稀土精煉合作¹¹。中國大陸的協鑫集團亦提供改良西門子法技術，協助尼托爾改良矽材精煉純度¹²。

三、規避制裁

由於陸企對含有美國技術的設備仍有高依賴度，因此頗為忌憚美方制裁。為降低風險，陸企可能透過中立第三國的灰色管道（如哈薩克、土耳其）將二手設備中轉給俄企¹³，一方面藉此回收部分資金，同時避免直接觸及美方制裁條款。

自 2014 年俄羅斯佔領克里米亞以來便逐漸減少使用美元，多家主要金融機構亦在俄烏衝突後被逐出 SWIFT 系統，因此與中國大陸的交易結算多轉用本幣結算。由於俄羅斯



自中國大陸採購量激增，加上人民幣亦較盧布匯率穩定，俄羅斯央行外匯儲備已大量增加人民幣持有，並改用 CIPS、SPFS¹⁴ 等系統，或邊境小型金融機構進行結算¹⁵。

四、戰略投資

俄烏衝突令中國大陸與俄羅斯形成更緊密的依存關係，相互增加戰略投資項目。例如中國大陸與俄羅斯 2023 年 5 月份重啟「中俄科技創新基金」，共同出資 50 億美元，一部份用於半導體成熟製程、封裝測試設備、EDA 軟體、RISC-V 架構研發等¹⁶。

另外，2023 年 7 月的第七屆中俄博覽會（7th China-Russia Expo）中，中國電科也與 Ruselectronics 簽署協議，在西伯利亞的伊爾庫茨克州（Irkutsk Oblast）建立合資碳化矽晶圓廠¹⁷。

結論：中俄半導體合作的前景及限制

西方國家對俄制裁後，俄羅斯晶片供應出現巨大短缺，給予中國大陸半導體企業相當程度的進入機會。雖受限於美方制裁，而無法以最先進技術進行合作，但即便是較低層級的技術，也足以緩解許多缺口。惟中國大陸與俄羅斯雖基於共同的「反霸權」立場，在政府層面形成「合作無上限」關係，但雙方企業在半導體實際合作仍面臨諸多障礙。

首先，中國大陸的半導體企業對於含有美國技術的設備及材料仍有較高依賴，易受制於美政府的「外國直接產品原則」（FDPR）

的制裁風險，導致陸企合作態度極為謹慎。

其次，俄羅斯在半導體方面的民用市場規模不大。據國際數據公司（IDC）統計，俄羅斯 2022 年的 ICT 市場規模僅 503 億美元，大部分民用電子消費品需求仍可透過灰色管道獲得滿足，故陸企直接赴俄投資生產的吸引力有限。俄羅斯的半導體需求多以軍方為主，俄政府對此一環節技術自主的重視程度顯著較高，對於讓陸企加入也多有疑慮。

第三，俄羅斯人才流失問題嚴峻，高技術人才多前往歐美國家或中國大陸尋求發展。儘管在俄烏衝突期間因擴張軍備需求，從業人員的薪資待遇有所改善，但是羸弱的民用市場仍是頑疾。倘若衝突告一段落，無法有效將相關技術轉化成民用或出口，則其產業鏈難以維繫。

最後，由於盧布的匯率不穩定，導致俄羅斯直接以本幣與陸企進行設備採購、技術合作時，極易因匯率變化而導致成本攀升，進一步制約其投資成果。

當前情勢下，即便川普（Donald Trump）重返白宮，美國也不太可能全面放鬆對俄制裁，加強對陸合作成為俄羅斯必然且無奈之舉。會否出現布里辛斯基（Zbigniew Brzezinski）在《大棋盤》一書中所言，中國大陸「把俄羅斯推到次要夥伴的地位，同時中國也欠缺手段（可能也沒有真正意願）協助俄羅斯克服其落後」情況，猶待觀察。

附注

1. TASS (2023). Российская компания Monocrystal увеличит производство карбида кремния для оборонной промышленности. <https://tass.ru/ekonomika/18256741>
2. TASS (2023). Россия и Китай построят в Петербурге завод по производству неона для микроэлектроники. <https://tass.ru/ekonomika/18675321>
3. Норникель (2023). Норникель и китайская Hanyang Group запустят совместное производство высокочистого аргона. <https://www.nornickel.ru/news-and-media/press-releases-and-news/nornikel-i-kitayskaya-hanyang-group-zapustyat-sovmestnoe-proizvodstvo-vysokochistogo-argona/>
4. Metal Bulletin (2024). Russia's rare earth ambitions face uphill battle. <https://www.metalbulletin.com/Article/4067653/Russias-rare-earth-ambitions-face-uphill-battle.html>
5. WSJ (2022). Chip Sanctions Challenge Russia's Tech Ambitions. <https://www.wsj.com/articles/chip-sanctions-challenge-russias-tech-ambitions-11647682202>
6. Nikkei Asia (2023). Russia's Mikron struggles to upgrade chip production under sanctions. <https://asia.nikkei.com/Spotlight/Semiconductors/Russia-s-Mikron-struggles-to-upgrade-chip-production-under-sanctions>
7. 鉅亨網 (2021)。台股傳俄企挖角專家發展半導體聯電：非從公司離職的前任員工。 <https://news.cnyes.com/news/id/4728185>
8. 鉅亨網 (2024)。科技財務陷困境、遭西方制裁 俄大型晶圓廠還不出3.25億台幣宣告破產。 <https://news.cnyes.com/news/id/5810135>
9. CSIS (2023). China-Russia Semiconductor Collaboration: Technological Limits and Geopolitical Risks. <https://www.csis.org/analysis/china-russia-semiconductor-collusion>
10. Semiconductor Engineering (2023). China's NAURA expands exports to Russia amid semiconductor sanctions. <https://semiengineering.com/chinas-naura-expands-exports-to-russia/>
11. CSIS (2023). China's Rare Earth Strategy Extends to Russia. <https://www.csis.org/analysis/chinas-rare-earth-strategy-extends-russia>
12. Reuters (2022). Russia's Nitel Group teams up with China's GCL on silicon production. <https://www.reuters.com/markets/commodities/russias-nitel-group-teams-up-with-chinas-gcl-silicon-production-2022-12-15/>
13. WorldCrunch (2023). How Russia Is Still Dodging Sanctions— With Help From Companies Everywhere. <https://worldcrunch.com/focus/russia-sanctions-companies-circumvent>
14. 即俄羅斯中央銀行自行開發，用於取代SWIFT的金融資訊傳輸系統（ Система передачи финансовых сообщений ）。截至2024年底，有20個國家、550個金融機構加入該系統。
15. GIS (2024). China and Russia: Toward an alternate financial system. <https://www.gisreportsonline.com/r/china-russia-finance/>
16. RDIF (2023). RDIF and Chinese Partners to Jointly Develop High-Tech Projects. https://rdif.ru/Eng_News/10209/
17. TASS (2023). Россия и Китай подписали соглашение о создании производства карбида кремния на Урале. <https://tass.ru/ekonomika/18123456>