

使用連續式高壓放電 製作鑽石線鋸 之可行性研究評估報告

本新方法用的理論基礎為高壓式連續放電，
其放方法有如擊棒一般採用高壓低電流，
先將一般電壓升至1500V-1800V，
在此範圍以上的電壓就可產生弧放加工效果，
其中心溫度約高達30000度C...

UNION
Union Group

TEL: +886-7-8313082 | FAX: +886-7-8313081

www.twunion-diamond.com

NO. 46, SANCHENG RD., FENGSHAN DIST., KAOHSIUNG CITY 83086, TAIWAN

台灣聯合磨料有限公司

目錄

目錄	ii
圖 目 錄	iv
表 目 錄	v
第一章 緒論	6
第二章 文獻回顧	2
2.1 前人文獻回顧	2
2.1 鑽石線鋸	6
第三章 研究方法	18
3.1 實驗流程	18
第四章 市場評估分析	31
4.1 晶圓市場評估分析	31
第五章 結論與未來研究討論	34
5.1 結論	34

UNION
Union Group

TEL: +886-7-8313082 | FAX: +886-7-8313081 iii

www.twunion-diamond.com

NO. 46, SANCHENG RD., FENGSHAN DIST., KAOHSIUNG CITY 83086, TAIWAN

台灣聯合磨料有限公司

圖目錄

圖 2-1 內圓鋸鋸片鋸切晶棒示意圖	4
圖 2-2 固定磨粒與游離磨粒鋸切方法	5
圖 2-3 以複視線鋸方法鋸切晶棒	6
圖 2-4 硬焊 電鍍 與樹脂塗覆方式之鑽石突出面示意圖	11
圖 2-5 旋轉工作物的工作方式	12
圖 2-6 旋轉工作物的工作方式	13
圖 2-7 鑽石線鋸在市場上的運用其中電子業佔了 43.4%.....	13
圖 2-8 游離線鋸電鍍線鋸與樹脂線鋸之比較與其切割示意圖	14
圖 2-9 國外電鍍線鋸量廠機與一般線鋸之比較	15
圖 2-10 國外線鋸產品簡介	16
圖 2-11 樹脂鑽石線鋸圖	16
圖 2-12 電鍍鑽石線鋸圖	16
圖 2-13 硬焊鑽石線鋸圖	17
圖 2-14 硬焊鑽石線鋸圖	17
圖 3-1 樹脂鑽石線鋸示意圖	24
圖 3-2 電鍍鑽石線鋸示意圖	25
圖 3-3 連續式高壓放電電焊鑽石線鋸示意圖	25
圖 3-4 未來可定製線徑方法與規格	26
圖 3-5 游離磨料與固定磨料比較圖	27
圖 3-6 藍寶石晶圓晶棒	27
圖 3-7 矽晶圓晶棒	28
圖 3-8 鑽石線鋸切割出來的單晶矽	29
圖 3-9 新型方法製做鑽石線	30
圖 4-1 全球太陽能電池產能預估圖	31
圖 4-2 全球 LED 產業預估圖	32

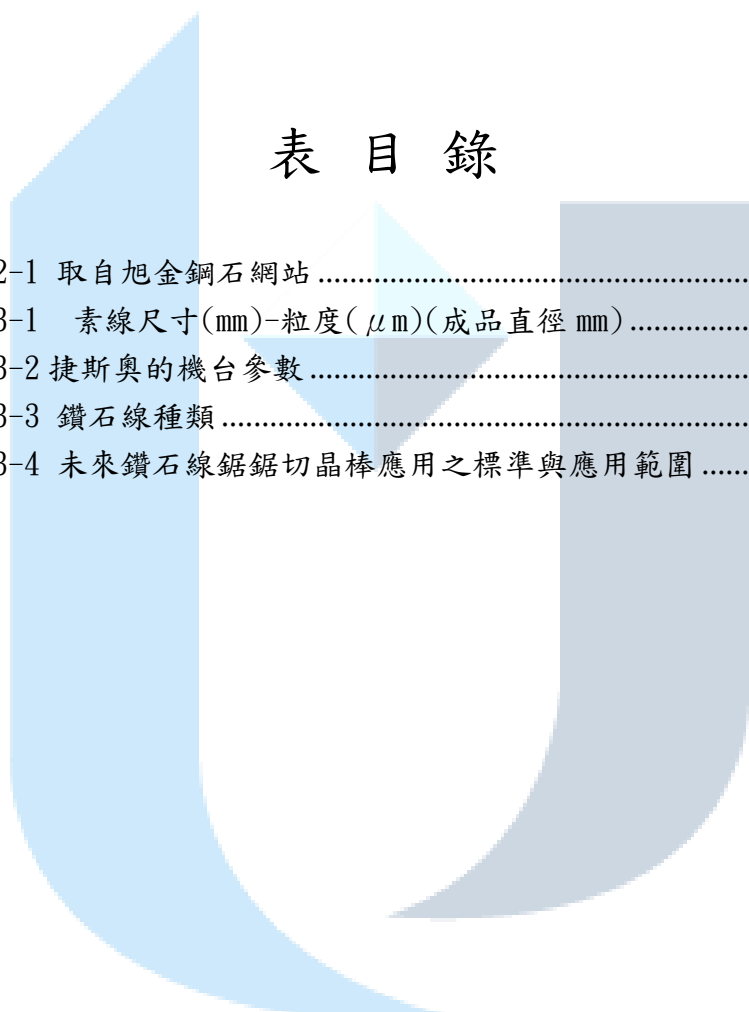


表 目 錄

表 2-1 取自旭金鋼石網站	10
表 3-1 素線尺寸(mm)-粒度(μ m)(成品直徑 mm)	22
表 3-2 捷斯奧的機台參數	23
表 3-3 鑽石線種類	25
表 3-4 未來鑽石線鋸鋸切晶棒應用之標準與應用範圍	26

UNION
Union Group

TEL: +886-7-8313082 | FAX: +886-7-8313081 v

www.twunion-diamond.com

NO. 46, SANCHENG RD., FENGSHAN DIST., KAOHSIUNG CITY 83086, TAIWAN

台灣聯合磨料有限公司

第一章 緒論

在高科技行業的製程中，從過去的一般加工方式，也慢慢的演進成特殊的加工方式，就本研究來說最早鋸切晶圓(Ingot)的方式是使用圓鋸片，後來慢慢演進成拉鋸，再來是排鋸。然而現在最廣泛使用的確是鑽石線鋸(diamond wire saw)，因為它能顧及圓鋸的單一方向鋸切之優點又有排鋸的同時鋸切之優點所以理當取而代之。在一次因緣際會之下，N 對此產品有開發意願，再加上 N 公司在鑽石砂輪上有 20 餘年的豐富經驗，經 N 提出該合作提案，由台灣聯合磨料有限公司提出可行性計劃與研發團隊給予技術合作支持。研發鑽石線鋸該主題，預估投入 200 萬資金，與六個月的研發時間，攻佔其鑽石線鋸市場，故附上此可行性評估報告一份，以茲評估。



TEL: +886-7-8313082 | FAX: +886-7-8313081 vi

www.twunion-diamond.com

NO. 46, SANCHENG RD., FENGSHAN DIST., KAOHSIUNG CITY 83086, TAIWAN

台灣聯合磨料有限公司

第二章 文獻回顧

2.1 前人文獻回顧

伴隨著倍數時代的來臨，硬脆材料更廣泛的運用於日常生活當中的各個領域，像工業上用的陶瓷材料，半導體上製造上的工業用矽、以及精密陶瓷等等，因其具有高硬度，極佳的耐高溫性與耐腐蝕性等，因此現正被積極研究開發當中。因精密陶瓷本身所具有上述所說的幾個特點，所以硬脆陶瓷在燒結成型時，其表面粗糙度、形狀、尺寸通常不足所要求之需求，所以再燒結過後仍須再一次「機械加工」，但精密陶瓷所具有的特性正是加工的困難度所在，在業界皆以磨粒加工方法做為機械加工方式的主要方式，其又分為固定磨粒加工方式與游離磨粒加工方式兩種，在工業上大量生產幾乎除了「磨削加工技術」外，幾乎別無它種有效方法。

在整個半導體矽晶圓加工過程中，從最初的長晶、至切片、研磨、拋光、清洗等等步驟，主要在晶片的切割上(Wafer Slicing)，對相對製程的成本與品質佔有絕對重要的關鍵因素點，最主要在晶棒要切割成晶圓的過成中，第一就決定了產出晶圓的數量，直接且間接影響到半導體後段製程晶片的產出量，而這樣的伴共效應稱之為(產量-成本)經濟效應。

過去將晶柱切割成晶片狀(Slicing)的機器設備所使用的方式是內圓鋸，如圖 2-1 (inner diameter saw) 來完成所須要的任務，但是伴隨著

目前晶圓的直徑日漸增大，內圓鋸已慢慢不能滿足所需，由過去的 4 吋到現今的 8 吋到未來的 12 吋甚至 18 吋，內圓鋸因會受到本身直徑大小限制所影響，使的完成工作所需也將變的越行困難，因此再使用上因應目前與未來所需也將勢必慢慢的被淘汰。

經過幾年的技術推演，已經有所謂的線鋸切割(wire saw)出現，線鋸切割已經能夠達到目前工業使用上所需，線鋸切割方式其應用成本較為低廉，並且不向內圓鋸一樣要顧及圓鋸片的半徑及晶圓的直徑等因素，另可使晶圓之切口損失達到最小，最短的鋸切時間並且鋸切完成的加工表面也較它種鋸切方式有較好的加工品質。

下列比較出線鋸與內圓鋸鋸切方式與加工方式之優點：

- 1、 以成本的考量線鋸較鋸片成本低廉
- 2、 線鋸能得到更細的切口溝槽，更能減少被切削材料不必要的浪費
- 3、 加工時所產生的熱量較低，因此相對於圓鋸所產生的熱變質層更加的減少許多
- 4、 線鋸可以使用複式線鋸如圖 2-3 這樣一來就可以同時鋸切更多相同的薄片，且厚度可維持相同不變

線鋸在使用上可分為兩種加工模式，一為固定磨粒(fixed-abrasive)鋸切方式，另一為游離磨粒(loose-abrasive)鋸切方式，如圖 2-2，其中固定磨料鋸切方式及是在鋼線(鋼琴線)上，以樹脂、電鍍、燒結、硬焊、焊接(目前無人使用)等方式將鑽石固定在鋼線上以而進行切割，而游離磨粒鋸切方式及是利用鋼線帶動磨漿(磨粒+液體)，進而進行加工。

在游離磨料上現接段加工石材的領域有用此方式進行加工鋸切，就連加工鋸切晶圓薄片上的技術亦有人也使用游離磨料來做加工，雖然在鋸片上是有相對上可以被減少被削材浪費等的優點，但在材料體積移除工式上游離磨料其單粒磨粒對被加工物的體積移除率不高，而且游離磨料在磨粒尚未達到完全利用時就已被廢棄不再使用，因此為了提高加工效率並且使磨料達到最高的最大使用率，所以才會因而有所謂的固定磨料鋸切線鋸型式產生，並且固定磨料相較於游離磨料有下列兩種優勢存在：

- 1、 能有對被加工物有較高的體積移除效率
- 2、 能維持環境乾淨而不會造成環境污染

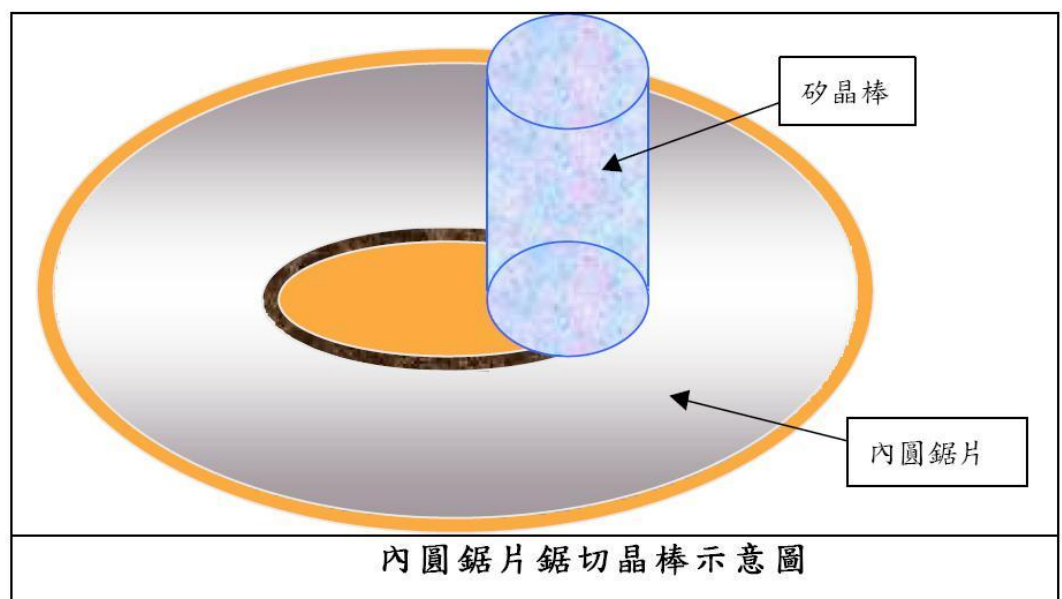


圖 2-1 內圓鋸鋸片鋸切晶棒示意圖

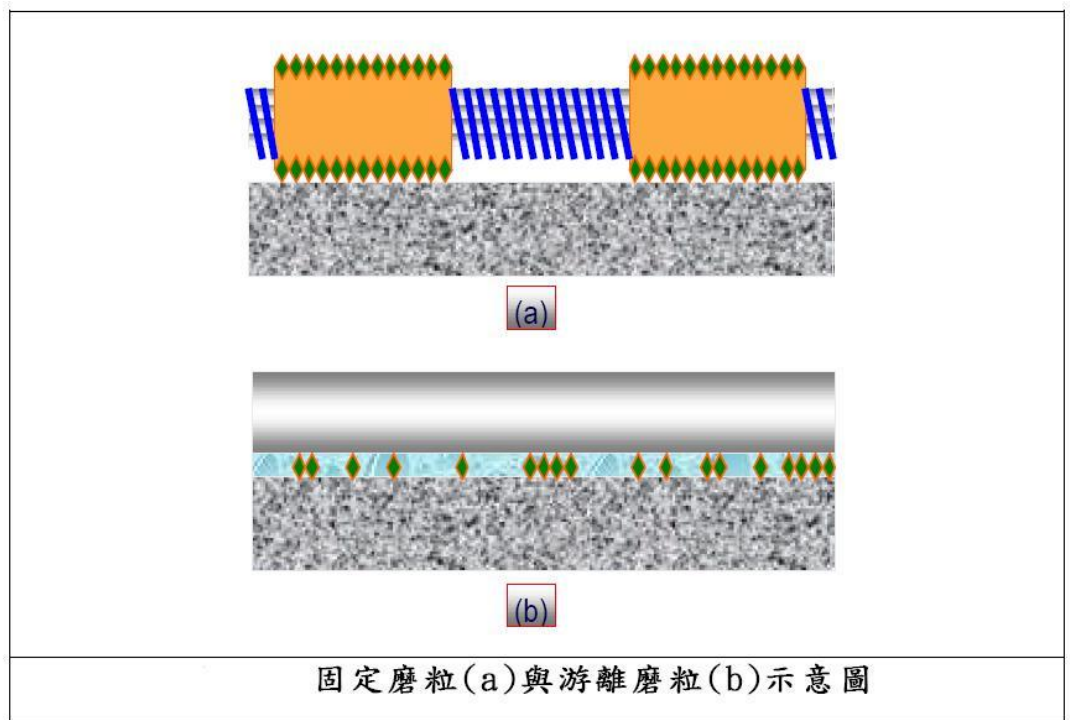


圖 2-2 固定磨粒與游離磨粒鋸切方法

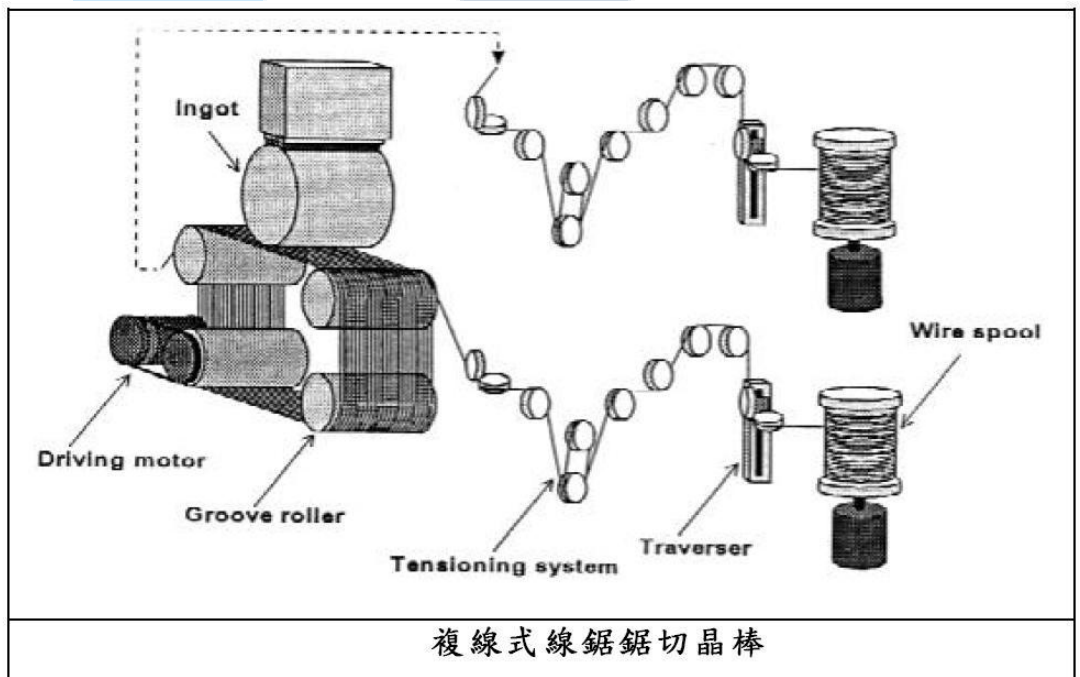


圖 2-3 以複視線鋸方法鋸切晶棒

2.1 鑽石線鋸

一種材料要硬，在受到外應力時其所含的原子必需要能夠保持在晶格的相對應位置，現今目前所之道最硬的材料是鑽石 (Knoop 硬度 10000/mm)，且擁有許多相當優良的特性，如耐磨性是氧化鋁的 5 倍、抗壓強度是碳化鎢的 20 倍、導熱速率是銀的 4 倍、電動移動率是矽的 2.5 倍、傳聲速率是鋼的 3 倍、折射率、透光性、電流阻抗及防腐蝕能力等…更加是大幅領先其他材料，這些不可超越的特性使得鑽石能更加廣泛的運用於各種領域之中。

鑽石的硬度及耐磨性遠高於其它的硬質磨料，也因此天然鑽石早就被當作成超級磨料(super abrasive)在做使用，高溫高壓所製出而成的人造鑽石更是現今超級磨料的主要來源，舉例來說鑽石可以用在鋸切石材上的鋸片及研磨玻璃用的砂輪，高壓製的聚晶鑽石(PCD)亦大量用於鋸切刀具、油井鑽頭、和抽線眼模等工業工具等…

線鋸技術是近十年來才高速發展出來的鋸切工具，其最主要的優勢是可以用在於輕便靈活的運用，比較起圓鋸所能鋸切的深度不及其直徑的一半，並且圓鋸的支撐處只在其中中心點一處，在圓鋸進行鋸切時容易在圓鋸的周邊有偏擺的效應產生，鋸出的表面極容易形成為斜面，雖然可以使用鋸切鋼板厚度增加用來補強支撐，讓切面較為平直，然而鋼板加厚，鋸齒要更寬，成本更是增加，且會造成被切削物的材

料浪費，使得成本大增。另外，比較拉鋸兩端夾持來回往復切削的動作，由於支撐點位於鋸切點之兩側，故有切面較為平直且深度不受限制的優勢，但其缺點為拉鋸的運動方式為往復式，因此切削速率不高，雖說有多片式方法及排鋸來彌補此相缺點，但因排鋸的來回拉扯也使得鑽石在鋸切時容易脫落，而鑽石線鋸的支撐一樣在如同排鋸在兩側，切片較為平直，並且切深的長度也不受限制，也可向圓鋸一樣可以以高速向相同方向鋸切，同時擁有了排鋸與圓鋸的優點所在。

硬脆材料的加工方式因其具有極高的硬度、傳導性不佳、易脆等性質，若以陶瓷而言，其加熱到一定程度的溫度時，陶瓷材料本身會軟化，即可較容易進行加工動作，此則所謂一般稱之上所說的「高溫加工」，但此種方法形狀及尺寸極容易失去精度，而在常溫易脆之下，以機械加工之方法而言，一般使用加工單位較小之「磨削加工」。

在磨削機構方面，Okamura 提出一理論為磨粒與工件接觸過程可分為三段進行，擦滑(rubbing)、犁起(plowing)、切削(cutting)，指稱當磨粒切入一定深度後才有切削形成。Shaw 則認為在切削形成時，磨粒會先在工件次表面處形成塑變區，進而將材料擠壓出來。

半導體技術的高速發展，造就了現代文明科技的瑰寶，使得高科技以十倍速的速度快速向前推進邁動，並且為了增加產能及減少晶圓切削的成本，以及隨著晶圓的直徑日漸增大，使的外圓及內圓鋸已無法達到所要求，故發展出線鋸的鋸切方式，可不受尺寸大小的限制

而達到鋸切的要求。除此之外，線鋸在鋸切硬脆材料的品質上和穩定性上均優於傳統的鋸片鋸切方式，不僅鋸切工作物的移除效率高，而且在加工成本上也較具有經濟效益。而在 Kokima 發表的論文中有關如何精確的鋸切矽晶棒(Silicon ingots)，完整的寫出了複式線鋸鋸切的優點，利用線鋸在同時間多條同時鋸切被加工物的特性，以及較易增加鋸切速度的優點，比較起傳統的內外圓鋸片與拉鋸排鋸等能強而有力的提高起鋸切效率。而 Howawd B 和 McLunghlin 所發表的論文也簡約的介紹出了鑽石線鋸能運用的範圍如鋸切大理石、花崗岩、矽晶棒、藍寶石晶棒、陶瓷材料等等。

另外有日本的學者 Toshiyuki Enomoto 研究發現，經由一連串的相關實驗證明若摻雜金屬粉末(Metal powder)在燒結過程中所製造出來的樹脂線鋸可以比原來的樹脂線鋸扭曲強度(Breaking Twist strength)增強許多(至少兩倍)並使得磨粒較不易脫落，提供了一種鑽石線鋸其磨粒在鋸切使用時與工件物碰撞產生較易脫落的問題。而在 S. Y Luo 的研究中也題出一些有關金屬添加物對樹脂燒結上的鑽石磨粒附著力(retention)以及磨耗(wear)的影響相關結論，另外在 S. Y. Luo 的論文中也提出在樹脂結合劑中添加 30-40%的銅金屬(Cu filler)可相對降低其鑽石磨耗情形發生，而若添加碳化矽(SiC)則會造成鑽石對樹脂呈現較低附著力以致鑽石脫落而造成粗糙(rough wogrn)的表面特性，但是不管添加何種添加物進入樹脂結和劑中對鑽石的附著力改善仍舊有限，一旦把線鋸的加工速率提高之後，鑽石脫落的程度依舊隨之明顯突出。S. Y. Luo 提出鑽石在被磨耗時的情形分為 8 種：

- 1、 披覆鑽石(coated particle)
- 2、 突出鑽石(protrusive particle)
- 3、 磨耗的鑽石(flattened particle)
- 4、 破損的鑽石(breakage particle)
- 5、 部份破損的鑽石(partial breakage particle)
- 6、 空孔(pull-out hole)
- 7、 空孔含有披覆層(hole of retained coating layer)
- 8、 空孔含有部份披覆層(hole of partial retained coating layer)

而跟據實驗結果得知，伴隨著鋸切的速度增加，鑽石磨耗比例中以產生空孔的比例越多，這表示樹脂鑽石的附著力不足以達到有效的加工要求。

而 H. Suwabe 提出旋轉工物的方法能夠被切削材的切削速率如圖 2-5 與圖 2-6 所示，另在表 2-1 中有取自旭金鋼石網站做的統計資料顯示出鑽石線鋸使用在各個領域的使用百分比，圖 2-11 和圖 2-12 也比較了電鍍線鋸和樹脂線鋸的 SEM 圖，圖 2-4 也同時指出了樹脂、電鍍和硬焊三種不同差異的示意圖，圖 2-9 與圖 2-10 更有國外的量產機與量產鑽石線產品圖及其參數可做參考。

表 2-1 取自旭金鋼石網站

Classifies		Products	Net Sales (Thousands of U.S.dollars) (Note)	Composition Ratio
<Diamond Tools Business>	Electronics and Semiconductor	Diamond Wheels,Cutting Wheels,ID Blades,Electroplated Diamond Wire,Diamond Metal Band Saws,CMP Conditioners,Scribers,and Diamond Dies	127,924	43.4%
		Diamond Wheels,CBN Wheels,Cutting Wheels,Diamond Dressers,Diamond Roller Dressers,Turning Tools,Drills,End Mills,and Reamers	47,992	16.3%
		Diamond Wheels,CBN Wheels,Diamond Dressers,Diamond Roller Dressers,Wire Guide Dies,Water Jet Nozzles, and Wear Parts	54,517	18.5%
	Tranceportation			
	Machinery			
	Stone and	Diamond Saw Blades,Portable Cutters,Diamond Wire	53,173	18.0%

TEL: +886-7-8313082 | FAX: +886-7-8313081 10

www.twunion-diamond.com

NO. 46, SANCHENG RD., FENGSHAN DIST., KAOHSIUNG CITY 83086, TAIWAN

台灣聯合磨料有限公司

	Construction	Saws,Damond Polishing Wheels,Diamond Core Drills,Diamond Bits, Excavators,and Cutting Machines		
	Other		5,037	1.7%
	Total		288,646	97.9%
<Jeweiry Business >			6,066	2.1%
<Net Sales >			294,712	100.0%

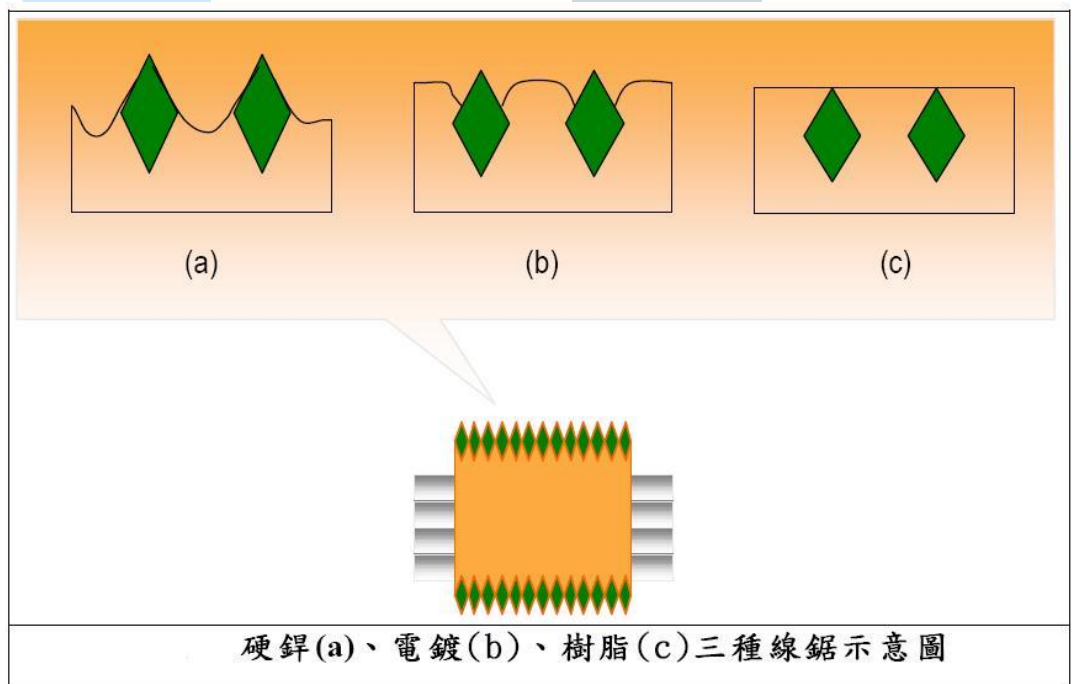


圖 2-4 硬焊 電鍍 與樹脂塗覆方式之鑽石突出面示意圖

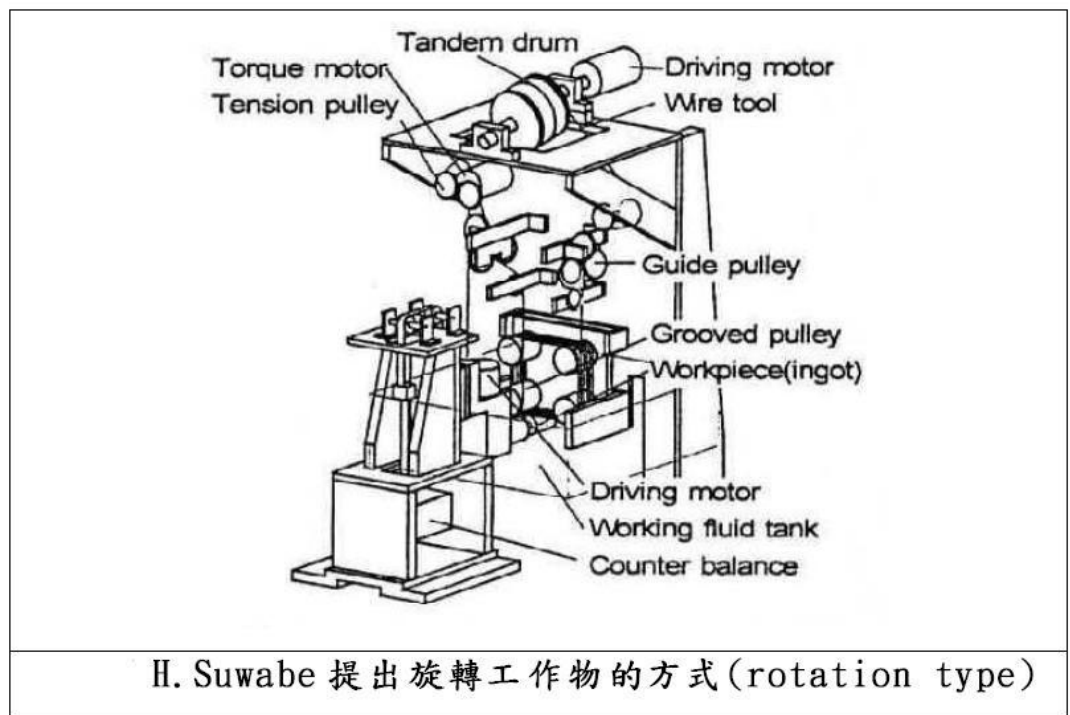


圖 2-5 旋轉工作物的工作方式

UNION
Union Group

TEL: +886-7-8313082 | FAX: +886-7-8313081 12

www.twunion-diamond.com

NO. 46, SANCHENG RD., FENGSHAN DIST., KAOHSIUNG CITY 83086, TAIWAN

台灣聯合磨料有限公司

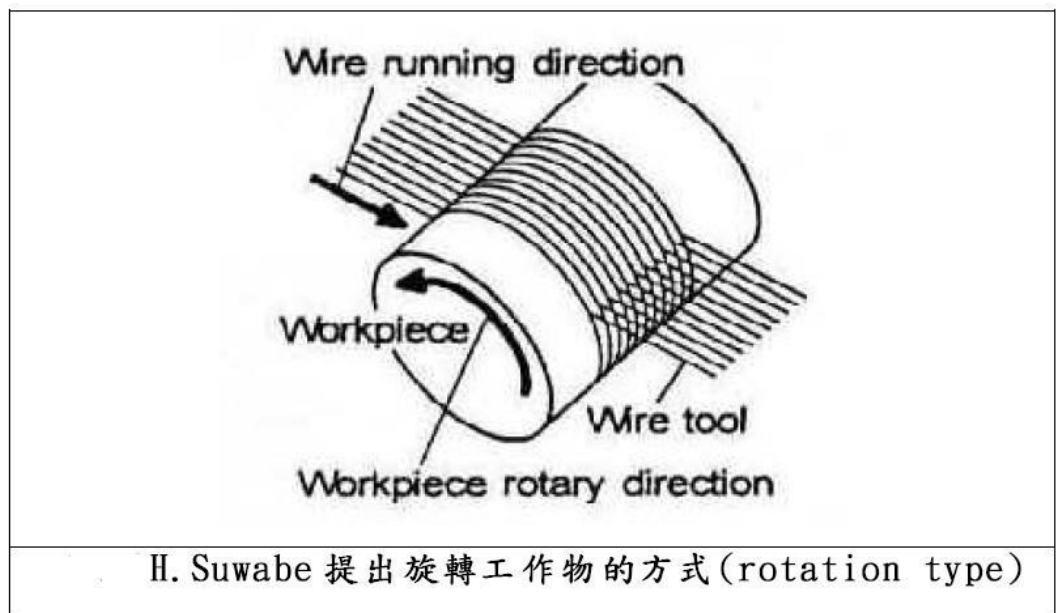


圖 2-6 旋轉工作物的工作方式

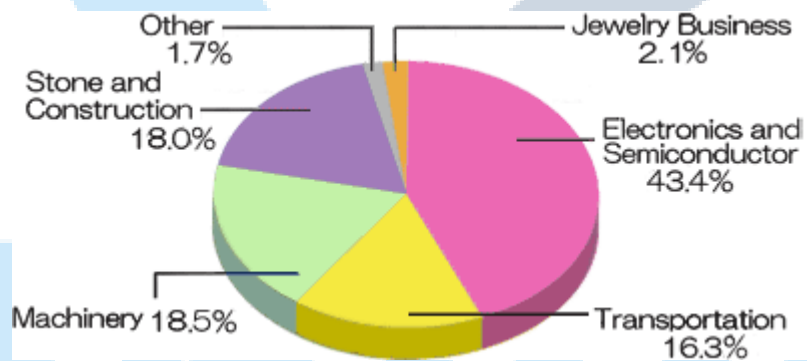
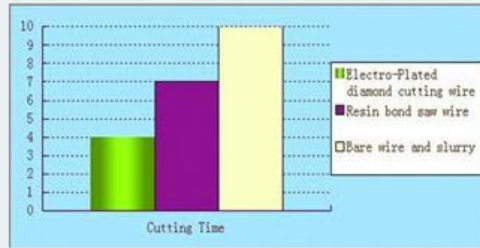


圖 2-7 鑽石線鋸在市場上的運用其中電子業佔了 43.4%

Description



Features:

- Electro-plated diamond cutting wire
- It is possible to manufacture saws of 100km or more in length
- Cutting speed is 3-4 times faster than common cutting wire.
- Cutting by water-insoluble or water-soluble oils, do not need recycle.
- Cutting crack is less than 10mm and piece rate can reach 90%.
- Reduced waste.

Application:

- Semi-conductor, photovoltaic, LED and solar energy
- Artificial crystal, ceramic, quartz glass, monocrystalline silicon, polycrystalline silicon, sapphire
- Magnetic materials such as ferrite or neodymium magnets
- Special metal materials
- Used on single wire and multi-wire cutting machine, including: Takatori, Meyer Burger, Diamond wire Technology, LLC etc.,

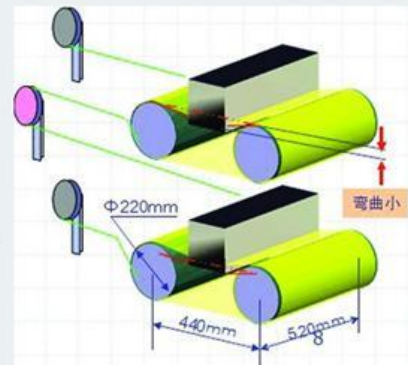


圖 2-8 游離線鋸電鍍線鋸與樹脂線鋸之比較與其切割示意圖

UNION
Union Group

TEL: +886-7-8313082 | FAX: +886-7-8313081 14

www.twunion-diamond.com

NO. 46, SANCHENG RD., FENGSHAN DIST., KAOHSIUNG CITY 83086, TAIWAN

台灣聯合磨料有限公司

Application machine



Correlation data

Compared data between electro-plated diamond cutting wire and traditional mortar evolution

1. Mande's electro-plated diamond cutting wire		2. Common cutting wire	
Specification of wire diameter(mm)	0.34	Specification of wire diameter(mm)	0.25
Factory of evolution machine	HCT	Factory of evolution machine	HCT
Silicon ingots dimension(mm)	840*840*260	Silicon ingots dimension(mm)	840*840*260
Evolution dimension mm	156*156	Evolution dimension mm	156*156
Cutting fluids model	GMW450	Cutting fluids model	Silicon carbide mortar
Line speed m/s	12	Line speed m/s	13
Cutting tension N	80	Cutting tension N	80
Loop line rate %	99	Loop line rate %	97-98
Cutting time(min)	≤196	Cutting time(min)	≥450
Line's loss quantity (m)	700	Line's loss quantity (m)	6000-7000

圖 2-9 國外電鍍線鋸量廠機與一般線鋸之比較

Product Introduction

Mande's electro-plated diamond cutting wire is a new products by our own research and development. The quality of product has reached the world leading level. Products are used in cutting supplies supporting the manual, in-line, multi-wire cutting machines, it can replace the cutting process of light abrasive.

Application data

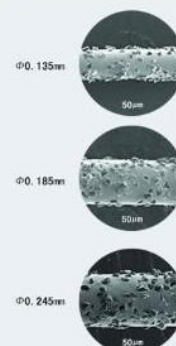
Diamond cutting wire technical parameters and uses

Wire specifications (mm)	Allow diameter deviation (mm/10m)	Germ-wire diameter(mm)	Diamond specifications (μm)	Breaking Rally(N)	Suitable for cutting the object
0.12	0.005	0.10	5-10	≥25	Silicon slice
0.13	0.005	0.11	5-10	≥30	Silicon slice
0.14	0.01	0.11	10-15	≥30	Silicon slice
0.16	0.01	0.13	10-15	≥45	Crystal Slice
0.24	0.01	0.16	30-40	≥72	Ceramics sapphire cutting
0.26	0.01	0.18	30-40	≥85	sapphire cutting
0.30	0.01	0.20	40-50	≥95	Silicon evolution cut off
0.34	0.01	0.25	40-50	≥150	Silicon evolution cut off
0.36	0.01	0.27	40-50	≥180	Silicon evolution cut off

Current specifications: 0.14mm, 0.16mm, 0.25mm, 0.30mm, 0.34mm.



线径 Dimension



TEL: +886-7-8313082 | FAX: +886-7-8313081 15

www.twunion-diamond.com

NO. 46, SANCHENG RD., FENGSHAN DIST., KAOHSIUNG CITY 83086, TAIWAN

台灣聯合磨料有限公司

圖 2-10 國外線鋸產品簡介

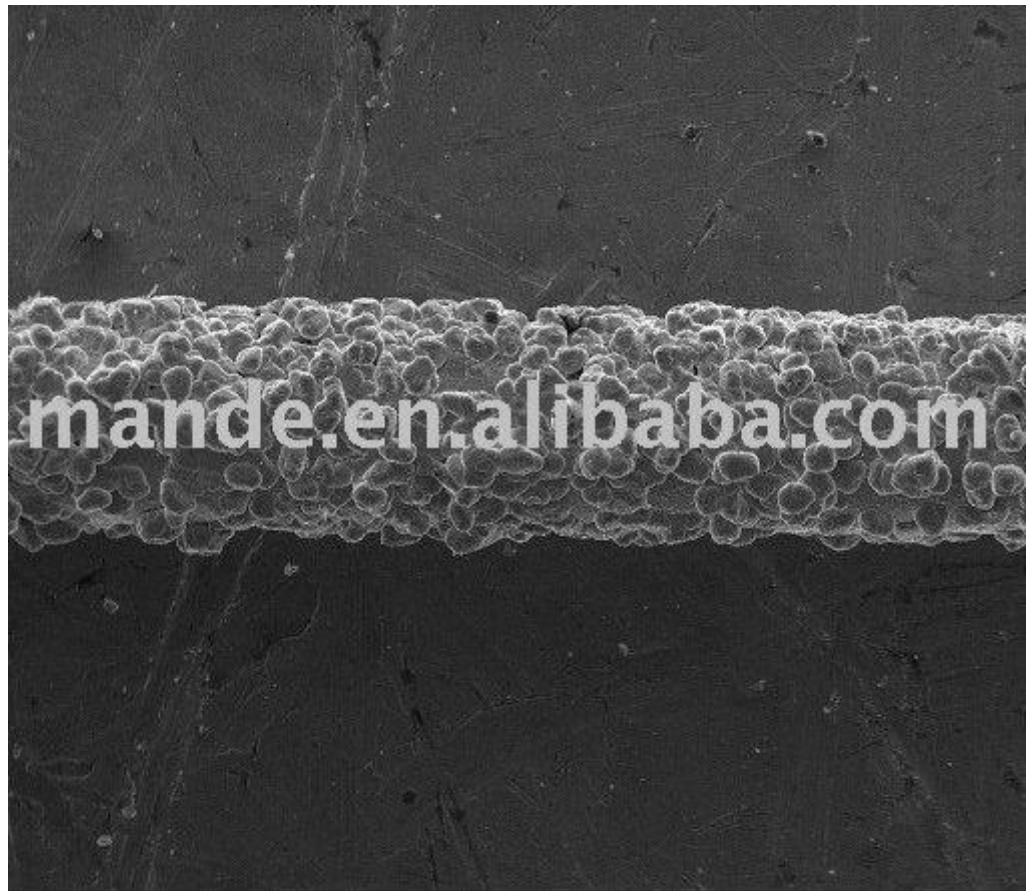


圖 2-11 樹脂鑽石線鋸圖



圖 2-12 電鍍鑽石線鋸圖

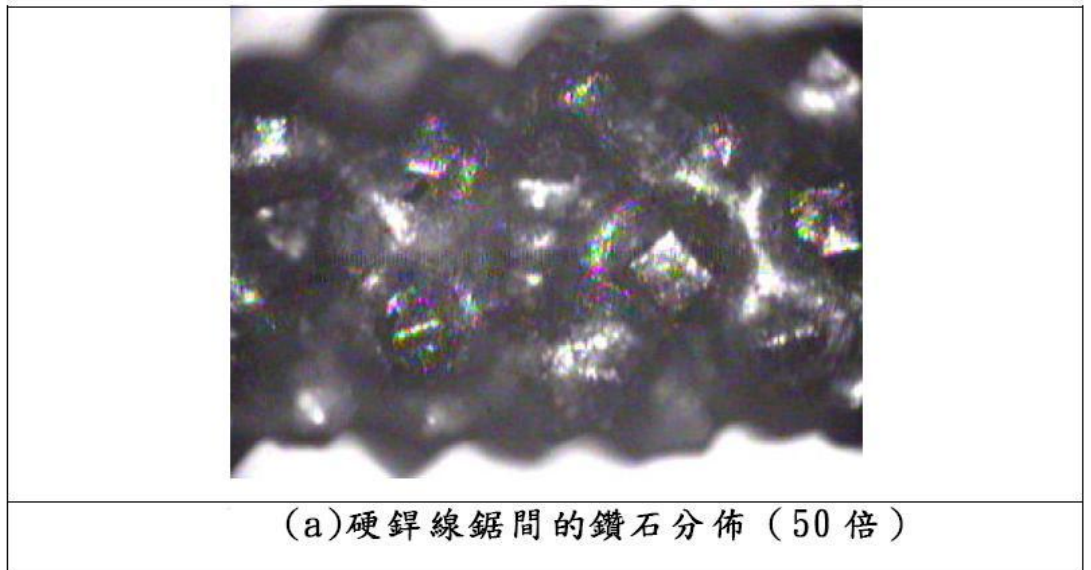


圖 2-13 硬焊鑽石線鋸圖

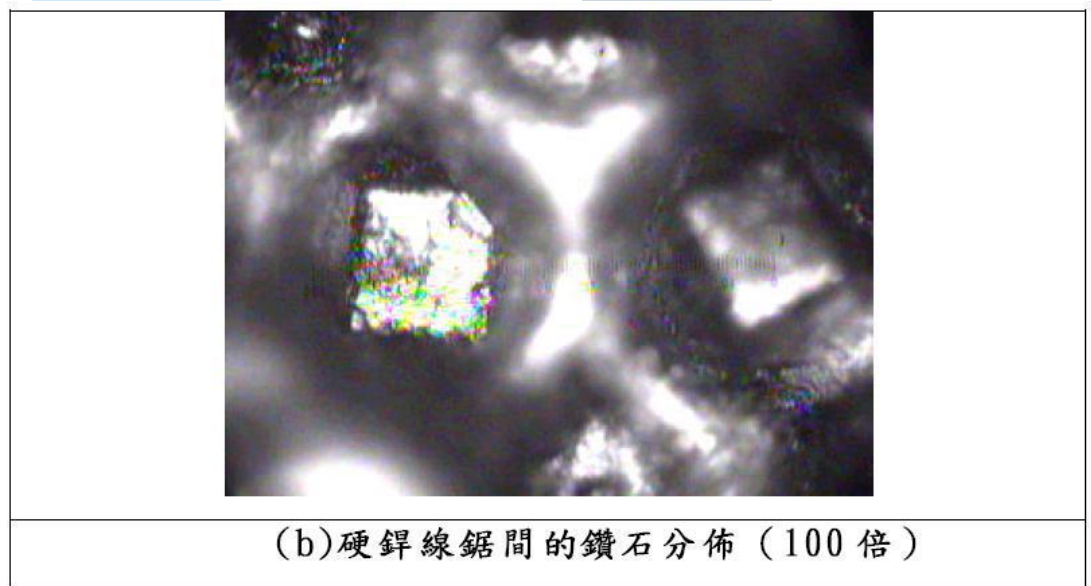


圖 2-14 硬焊鑽石線鋸圖

第三章 研究方法

3.1 實驗流程

本可行性評估報告，即著重於在所鋸切之材料，而本可行性評估報告之主要硬脆材料有二：1、矽晶棒、2、藍寶石晶棒，來從事精密鑽石線鋸加工之研究，目前廣泛用於高科技產業的矽晶棒，以及工業用的玻璃，超硬合金、陶瓷合金，全隸屬於硬脆材料之範疇，因此希望能透過最簡易的矽晶棒來瞭解其加工可行性，在進一步將鑽石線鋸使用在硬脆材質上做為精密加工使用。

矽晶材料與精密陶瓷

矽是地表中含量最豐富的原素，它通常會以化合物的型式存在於自然界中，舉例來說有：氧化矽(silica)、矽酸鹽(silicate)。在 18 世紀末以前，silica 還被當成是一種原素，直到 1787 年 silica 才被 Lavoisier 更名為一種氧化物，也一直到了 19 世紀中期結晶型態的氧化矽才成功的獲得，更晚在 20 世紀時世人才發覺矽有半導體的做用與性質，這些性質包含電阻率隨著溫度的增加而遞減，光電性(光線使的矽的電阻率減小)，熱電效應、Hall 效應、磁電效應、半導體與金屬接觸整流效應等等。

運用少量雜質來改變矽導電性的概念，源起初於 1930 年代的 Gudden，他在第二次世界大戰時用大量採用矽晶來發展雷達偵測器，這也催化著矽

的純化技術孕育而生，也讓世人對半導體的導電現象有所初步的了解，加

速二極體、電晶體等元件陸續備開發出來。也因矽的耐高溫性質優於鍺元素，這也讓矽成為這半世紀以來最當紅的半導體電子材料，也因此矽晶工業大部份都使用單晶矽當做為半導體基材(substrate)，而在製程的第一步當中，及為拉出單晶的單晶矽晶棒(Silicon Ingot)，然後進行片狀鋸切加工，此正為本可報告所要討論之重點所在。

精密陶瓷(fine ceramics)在美國亦稱之為 advanced ceramics 或是 high-tech ceramics，在材料學中陶瓷的定義為「非金屬的無機固定材料」，遠從天然岩石、礦物到水泥，玻璃等工業材料

硬脆材料的加工原理

加工的目的是指把要求的素材調整成必要的形狀、尺寸、表面狀性、零件的生產有諸多方法，大致上區分如下：

- 1、 除去不必要的部份，確保所需型態，機能的除去加工。
- 2、 材料附著而確保型態，機能的附加加工。
- 3、 以加熱、加壓所制的變型確保型態，機能的變形加工。
- 4、 利用熱處理、離子交換、離子注入等變質加工。

當然對硬脆材料也適用於上述之加工方法，硬脆材料有構造由原子配列組成的單結晶原子材料，原子配列無規則性的非晶質材料。由於近年來材料科技研發快速進步，研究天然產品，自然界不存在，可人工供給。例如半導體的 Si、Ge、GaAs、InP 等單晶、介電材質的水晶、藍寶石、LiNbO₃、LiTaO₃、磁性材料的 Mn-Zn 鐵氧瓷體的單結晶，電子零件機板材料的氧化

鋁，氧化鋁等陶瓷，機械零件材料的 Si_3N_4 、 SiC 、 ZrO_2 等陶瓷，各種光學玻璃，機能性玻璃等，如此硬脆材料的種類之多，適用範圍之廣，對加工條件要求相對當然也來的不單純，如本可行性報告所探討之矽晶片及藍寶石晶片，為保證正常的半導體元件動作，必須要達到全無加工缺陷，表面污染，是在硬脆材料中所要求的最高加工品質。

脆性材料比如單晶矽或是陶瓷材料的移除，一般來說要切削一種材質其切削材本身必須比被切削材硬上 3 倍以上，所以要切削矽晶圓或藍寶石晶圓，鑽石當然是最好的材料。脆性材料本身的降伏強度(yielding strength)大於破壞強度，大多是經由脆性破壞來完成，亦會造成表面的破裂或缺陷，表面之品質不良，在沒有產生明顯之塑性變形前已發生脆性之破壞，也因如此之特質使得加工此類高硬脆材料顯得更佳不易；然而若是切削深度小於零界切削深度(critical depth of cut)脆性材料可以一種延性模式加工；以磨粒加工稱為「延性磨削」，有表面精度，次表面變質層薄等優點。

複式線鋸是 1960 年代在 SZA 公司開始開發成功，而日本在 1968 年從法國 SZA 公司將其技術導入國內，並在隔年成功生產量產化，複式線鋸的原理如圖 2-3 所示，從高精度切削加工成三個高分子材料，形成多溝滑輪（導線溝之間距約：0.4~1.9mm），且在其上纏繞多數的鋼琴線（直徑約 1.0~0.25mm），因驅動用的印刷馬達(printed moter)而經往復移動，同時在工件上附加適當的荷重，使其接觸，一邊供給磨粒(GC#3000)和專用油(wst-110)混合而成的加工液，一邊研磨加工進行切斷，使發熱量較小，如此一來加工變質層就會變的較薄，但其缺點則為加工液的分散容易使機

械內部弄髒。

目前市面上量產的有兩種線鋸，一種是樹脂一種是電鍍，其簡介如下：
電鍍線使用一根長並且細徑的高抗拉強度金屬線絲，金屬絲經過特殊工藝電鍍了一層鑽石磨粒。與傳統的游離磨粒方式相比，電鍍線鋸縮短了切割堅硬和易碎料如矽和藍寶石的時間，減少了切口損耗和加工變形，提高了產量。另外，由於使用了水溶性冷卻液，切削能夠收集起來進行再利用，從而進一步提高成本效率和環保。

接下來我們所要介紹的是固定磨料的切削加工方式，它是以磨料與結合劑燒結的砂輪機械性質除去材料，可得到高的加工精度，砂輪本身具有硬脆的磨料性質，呈不規則型，其切刃部份亦不規則，無法控制切刃形狀，切刃經常會有很大的負斜角，刃尖銳，只能利用高切削速率產生切屑，磨料的切入深度約只有 $1\mu\text{m}$ ，以微小的切削累計去除材料，加工精度高。
本新方法用的理論基礎為高壓式連續放電，其放電方法有如電擊棒一般，採用高電壓低電流，先將一般電壓升壓至 1500V-1800V 在此範圍以上的電壓就可以產生電弧放電加工的效果，其中心溫度約高達 30000 度 C，可以瞬間將鑽石穩穩的焊黏在鋼琴線上，其單機生產速度約略在每秒鐘兩公尺左右，這樣的速度與溫度之下才不會造成鑽石、不鏽鋼的變質，但要使用在量產機台時這樣的速度是不夠的，必需使用多重高壓式連續放電，每秒鐘生產量要在 20 公尺左右，這才足以滿足量產線上的需求，在這之前線前要有一個正極的接地，之後在將鑽石用油黏的方法將鑽石均勻塗佈在鋼琴線上，在經過一個類似甜甜圈的電弧做連續式高壓放電加工，初略估計此單一連續式高壓放電每秒鐘可以焊上兩公尺長的鑽石線，最後在經過水刀清洗(約 5-10Kg/cm²)把焊不牢的鑽石先行脫落以免在使用時照成客戶

反應品質問題，如圖 3-9 所示。

一般在使用上的鑽石分成兩種尺寸，第一種 10-20 μm 第二種 30-40 μm 其中 10-20 μm 為最常使用之標準尺寸，這在表中有做詳盡說明，然而我們要在將鑽石焊黏在鋼琴線之前仍需將鑽石先做鍍 Ni 這一道工藝，一般來說 Ni 在 56% 包覆情況下是最理想的狀態，表 3-1 為所使用的線徑尺寸、鑽石粒徑與成品尺寸，表 3-2 為捷斯奧量產的機台參數，圖 3-1 為樹脂線鋸示意外觀，圖 3-2 為電鍍鑽石線鋸示意外觀，圖 3-3 為我們的電焊鑽石線鋸示意外觀，表 3-4 為未來鑽石線鋸鋸切晶棒應用之標準與應用範圍，圖 3-4 與表 3-3 為未來可定製線徑方法與規格，圖 3-5 為游離磨料與固定磨料比較圖，另外圖 3-6 與圖 3-7 分別為藍寶石晶圓晶棒與矽晶圓晶棒，圖 3-8 為拿鑽石線切割完的矽晶片。

表 3-1 素線尺寸(mm)-粒度(μm)(成品直徑 mm)

用途	素線尺寸(mm)-粒度(μm)(成品直徑 mm)	長度(km)
矽	$\varnothing 0.14-10-20 (\varnothing 0.160)$	10~50
	$\varnothing 0.14-8-16 (\varnothing 0.155)$	
	$\varnothing 0.12-10-20 (\varnothing 0.140)$	
藍寶石、玻璃、碳化矽	$\varnothing 0.18-30-40 (\varnothing 0.260)$	
	$\varnothing 0.16-30-40 (\varnothing 0.240)$	
	$\varnothing 0.14-30-40 (\varnothing 0.220)$	

Besdia-系列切片應用

使用石英、玻璃、氧化物半導體晶元(LiTaO₃, LiNbO₃, Li₂B₄O₇, 藍寶石

Al₂O₃, ZnO…等)、化合物半導體晶圓(GaAs, AlN, InAs 等)單晶矽、多晶矽、陶磁…等各種先進材料。主要應用於半導體、LED、太陽能(光伏)、光電、通信…等產業應用。

主要特性

1. 高品質-精準的生產表現，最佳的完工表面(大大減少 Saw Mark)及精湛的完工厚度控制。
2. 高速度-搭配 Besdia 鑽石線，縮短 50%切割工時，操作成本低，提高生產力。
3. 高適用性-切割所有高硬度、易碎之材質，工作台面通用性設計，適合廣泛形狀的工作切割應用。
4. 高效益-限損低(Kerfs-off)，減少下一階段 lapping 時間，降低材料耗損。
5. 高人性化-人機介面系統溝通順暢，操作維修簡單。耗材壽命長，更換簡單，備品取得容易。

下列為捷斯奧的機台參數可以做為做鑽石線鋸石做為參考

表 3-2 捷斯奧的機台參數

Item (Model No.)	μ MWS=1170
Workpiece dimension	Max. 200mm
Wire running speed	Max. 700m/min
Number of wire guides	7 sets
Number of traverses	2 sets
Z Table stroke	170 mm

TEL: +886-7-8313082 | FAX: +886-7-8313081 23

www.twunion-diamond.com

NO. 46, SANCHENG RD., FENGSHAN DIST., KAOHSIUNG CITY 83086, TAIWAN

台灣聯合磨料有限公司

Z In feed rate	Max. 50mm/hr
Wire diameter	ø 0.25 mm
Wire Tension	Max. 50N or less
Volume of the tank	40 L
Installation dimension	W2100X D1600X H2035mm
Machine weight	3.5 Tons

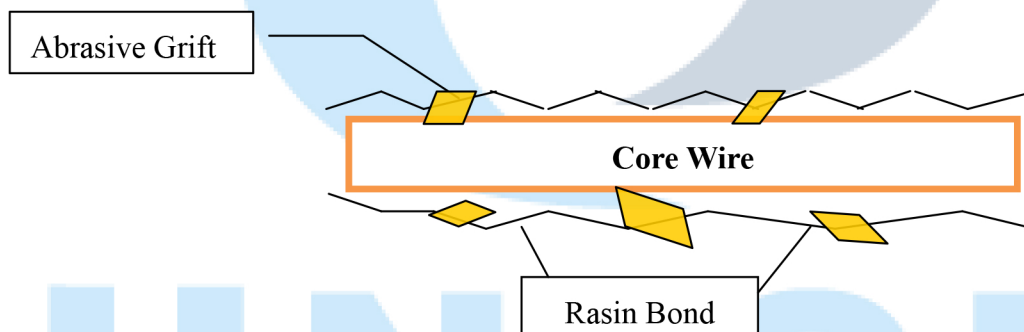
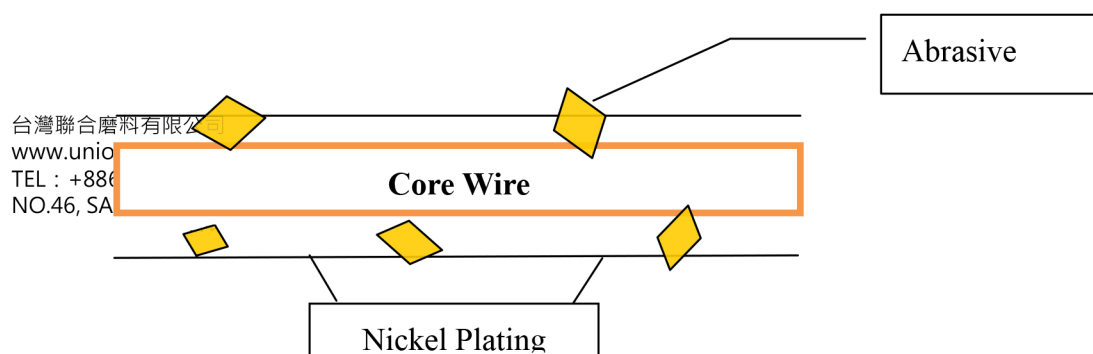


圖 3-1 樹脂鑽石線鋸示意圖



台灣聯合磨料有限公司
www.union
TEL : +886
NO.46, SA

圖 3-2 電鍍鑽石線鋸示意圖

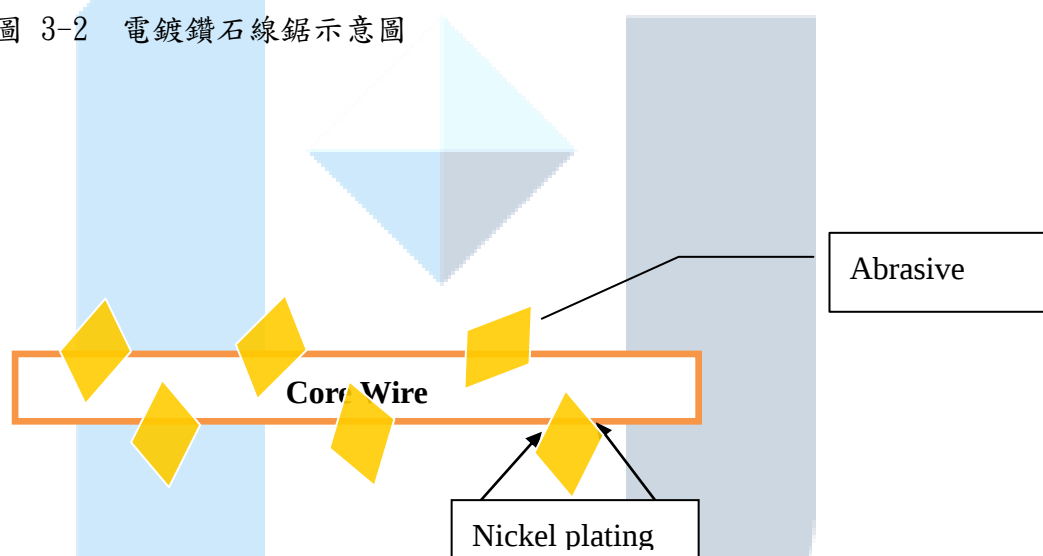


圖 3-3 連續式高壓放電電焊鑽石線鋸示意圖

表 3-3 鑽石線種類

鑽石線		
線材種類	批覆材料	線(外)徑
樹脂線	鑽石	$\Phi 140 \sim \Phi 350$ μm
電鍍線		
電焊線(最新)		

TEL: +886-7-8313082 | FAX: +886-7-8313081 25

www.twunion-diamond.com

NO. 46, SANCHENG RD., FENGSHAN DIST., KAOHSIUNG CITY 83086, TAIWAN

台灣聯合磨料有限公司

表 3-4 未來鑽石線鋸鋸切晶棒應用之標準與應用範圍

Ingot Sawing Application	
Diamond wire	Besdia
Material	Sapphire, Silicon, Quartz
Sawn wafer thickness	180-550 μm
Sawing time	3~6 hours
TTV	< 20 μm
Bow	< 10 μm
Surface finish	< 1 μm

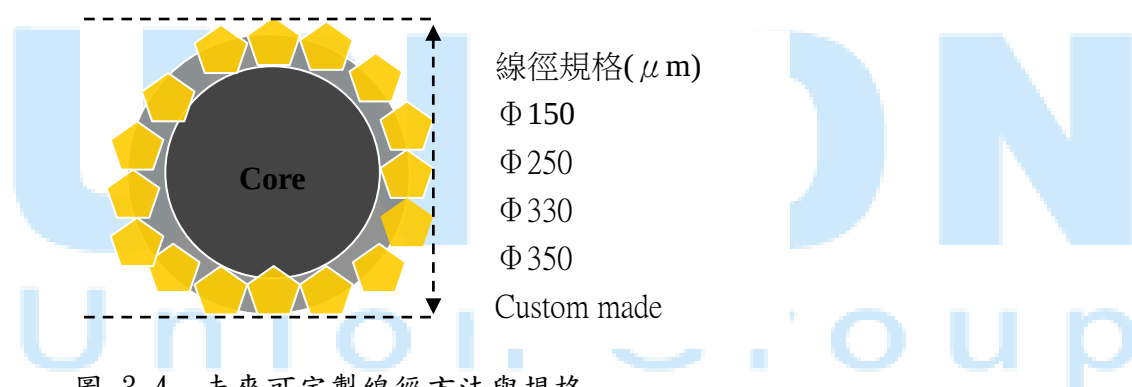


圖 3-4 未來可定製線徑方法與規格

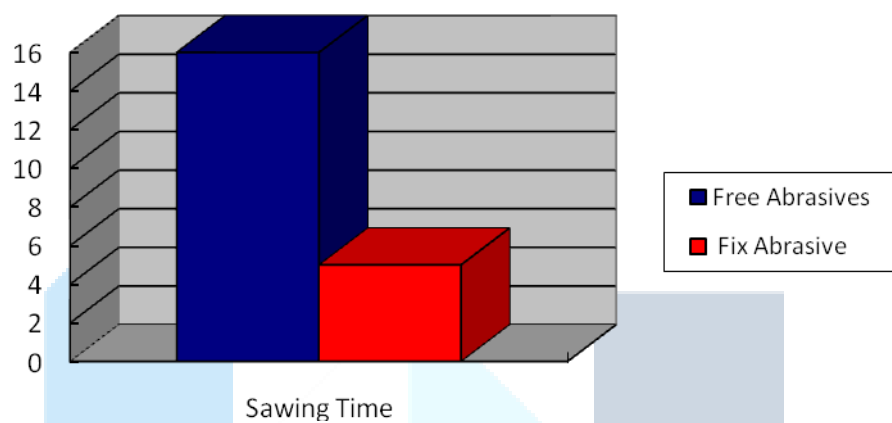


圖 3-5 游離磨料與固定磨料比較圖



圖 3-6 藍寶石晶圓晶棒



圖 3-7 矽晶圓晶棒

UNION
Union Group

TEL: +886-7-8313082 | FAX: +886-7-8313081 28

www.twunion-diamond.com

NO. 46, SANCHENG RD., FENGSHAN DIST., KAOHSIUNG CITY 83086, TAIWAN

台灣聯合磨料有限公司

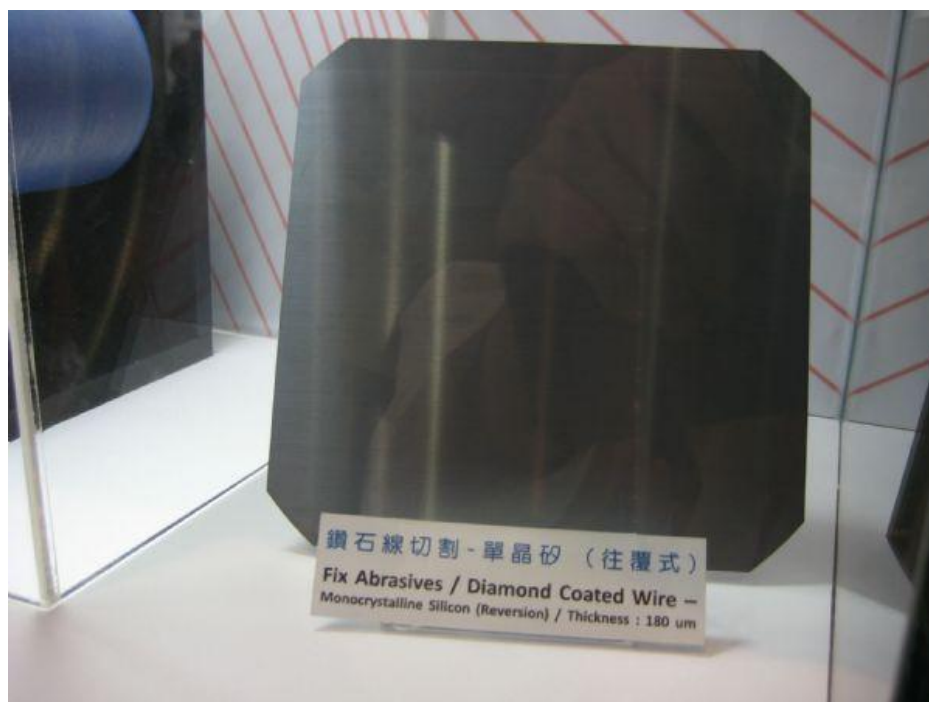


圖 3-8 鑽石線鋸切割出來的單晶矽

UNION
Union Group

TEL: +886-7-8313082 | FAX: +886-7-8313081 29

www.twunion-diamond.com

NO. 46, SANCHENG RD., FENGSHAN DIST., KAOHSIUNG CITY 83086, TAIWAN

台灣聯合磨料有限公司

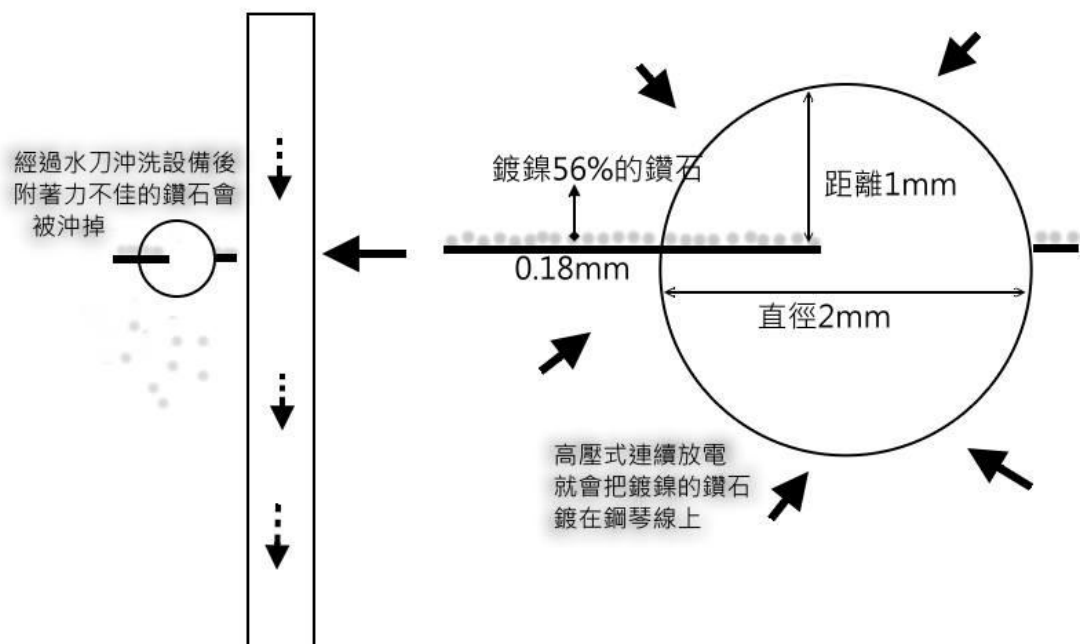


圖 3-9 新型方法製做鑽石線

UNION
Union Group

TEL: +886-7-8313082 | FAX: +886-7-8313081 30

www.twunion-diamond.com

NO. 46, SANCHENG RD., FENGSHAN DIST., KAOHSIUNG CITY 83086, TAIWAN

台灣聯合磨料有限公司

第四章 市場評估分析

4.1 晶圓市場評估分析

以多晶矽的市廠來舉例，全球每個月有超過 12 萬噸的多晶矽產出做為太陽能光電產業使用，在以 8 吋晶圓舉例，每根晶棒約 120 公斤重，（長一根多晶晶棒的時間約兩天半左右，包括退火的時間）這也代表著約有每個月有 100 萬支以上的晶棒產出量，在 LED 藍寶石基板快速成長需要大量需求下也需要使用到鑽石線鋸，而在許多的新聞中也指出，鑽石線鋸此耗材產能的供給是對使用者很大的採用困擾，因此只要掌握住鑽石的原料來源，再加上掌握住製做鑽石線鋸的技術，再加上目前競爭對手不多且實力不強的情況下（目前最大競爭對手為日本旭金鋼石），只要能在短時間內做出鑽石線鋸並進攻市場，相信很快就能夠得有佳績。

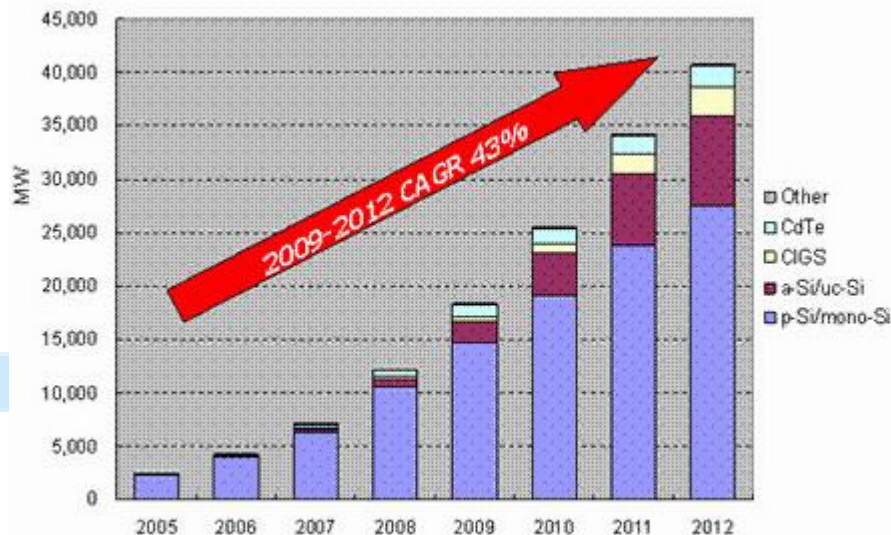


圖 4-1 全球太陽能電池產能預估圖

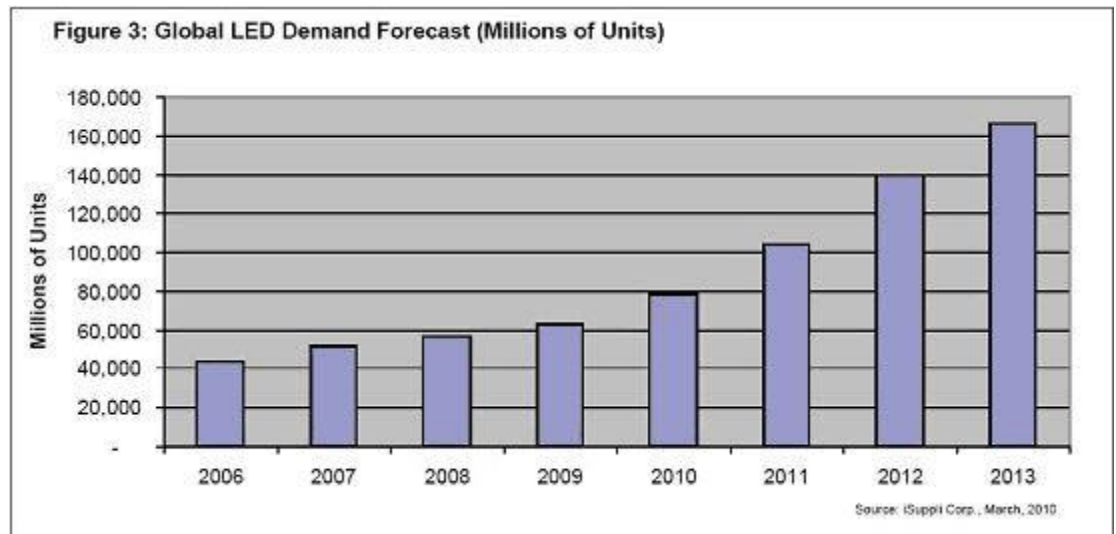


圖 4-2 全球 LED 產業預估圖

下文為新聞聞稿截選：

鑽石切割製程與現有切晶製程相較，更符合環保訴求，大量量產後，產出相較現有製程至少高出 2 倍。即使鑽石切割製程目前仍存在諸多必須解決的問題，但領域被視為未來突破碳化矽缺乏最佳的發展途徑之一，考量到部分問題待解決，預估 2 年內該製程得以突破現況普及，也代表切晶領域的技術革命成功。

就現況來看，鑽石切割製程待克服的難題包括該製程所需的線鋸，因有來源取得不易的問題，所以要投入該領域的第一步就是要掌控好該線鋸耗材的來源，否則新設備全下去，卻面臨耗材斷炊問題，對企業而言勢必是危機。其次，此項設備成本仍過高，是造成短期內普及化不易的原因之一。目前已有少數國際設備業者已開始推行二合一的設備機台，即傳統製程與該新製程

合一，或專門的鑽石切割設備。

另外，鑽石切割製程只在單晶領域成熟。目前投入鑽石切割製程的主要業者為日本夏普、三洋及京瓷等業者，多數以單晶矽晶圓為主，在普及性較佳的多晶矽晶圓領域反而無較具代表性的業者，使鑽石切割導入太陽能產業受到影響。

最後，鑽石切割所切出的矽晶圓，其表面呈現與現有製程不同，必須有太陽能電池廠的配合進行電池製程的調整，才能成功產出及普及。

對垂直整合廠而言，導入鑽石切割輕而易舉，因為矽晶圓及電池配合無慮。但對專業分工廠來說，該製程因為對電池廠無即時性利益，反而容易讓專業矽晶圓廠導入進度受阻。

若依兩岸太陽光電產業供應鏈的布局情況來看，這也代表大陸垂直整合廠與台灣專業代工廠未來可能因為該製程而陷入技術的拔河賽中。

雖然鑽石切割的導入可能是台灣產業鏈的未來挑戰之一，不過，也有業者認為，未來也有可能是現有技術與鑽石切割技術雙併進發展的趨勢，因為2個技術都有耗材取得的問題，併行發展可以去除耗材掌控成本的問題，形成良性競爭



TEL: +886-7-8313082 | FAX: +886-7-8313081 33

www.twunion-diamond.com

NO. 46, SANCHENG RD., FENGSHAN DIST., KAOHSIUNG CITY 83086, TAIWAN

台灣聯合磨料有限公司

第五章 結論與未來研究討論

5.1 結論

在鑽石線鋸這個研發主題中，有其最主要競爭對手為日本的旭金鋼石，它們的主要方式為電鍍，此方法的壞處有生產效率慢的缺點，若改用本新方案可快速追上其生產效率並穩定攻佔市場，且此新方案為期半年內即可開發成功，並且有極高機會可以投入量產，並且研發成本低，初期規劃先申請多國專利，由 N 公司在內部獨立成立專案研發，在這期間同時並添夠所須之設備與材料，在最低的成本下做最完善的研發，並在六個月內完成小型量產，其茲將完整專利整理成表格如下：



TEL: +886-7-8313082 | FAX: +886-7-8313081 34

www.twunion-diamond.com

NO. 46, SANCHENG RD., FENGSHAN DIST., KAOHSIUNG CITY 83086, TAIWAN

台灣聯合磨料有限公司



日期	工作項目
前三個月	專利： 1. 台灣 2. 大陸 3. 美國 4. 日本
前兩個月	實驗規畫及材料添購 1. 不同型號鋼絲線(100, 150, 200 μ m) 2. 鑽石鍍鎳設備 3. 電源供應器+電極設計製作 4. 退火爐(50~700 度) 5. 鑽石(10~20 μ m、30~40 μ m) 6. 耗材
第 3-4 月	實驗開發 SEM 照像 鑽石線測試 規化不足項目修改
第 5-6 月	成果報告整理及小量產線組裝

TEL: +886-7-8313082 | FAX: +886-7-8313081 35

www.twunion-diamond.com

NO. 46, SANCHENG RD., FENGSHAN DIST., KAOHSIUNG CITY 83086, TAIWAN

台灣聯合磨料有限公司