

A Model to Determine the Best Capacity Scale of Fab for Semiconductor Fabrication

Ying-Mei Tu*, Chia-Wei Chang

Department of Industrial Management, Chung Hua University, Hsinchu City
Email: amytu@chu.edu.tw, wei920509@gmail.com

Received: January 2015

Abstract

In order to meet market demand and increase competitive advantage, semiconductor manufacturing companies will expand the capacity in the existed fab or build new fab. Normally, except more advanced technology, the most significant characteristic of new fab is larger scale than existed fab. Although there are many benefits of a so-called Giga-fab, such as lower cost, shorter cycle time and more flexibilities etc., the Giga-fab scale will also increase risk of production management significantly. Therefore, the best capacity scale of Giga-fab is still an issue in this decade. In this work, a model to determine the best capacity scale of fab is proposed. Based on the opinions of experts, four decision criteria are defined, including demand, production performance, cost and accident. Besides, fuzzy analytic hierarchy process (FAHP) is applied to decide the weighting of these decision criteria. Regarding to the impact of decision criteria on capacity scale, four scoring equations are constructed. First of all, the 5-year demand forecast is considered as demand criterion and compared with the capacity scale. Secondly, production performance is focused on the changes of products' cycle time under each specific scale level and the concept of X-factor is applied to the scoring. Thirdly, the cost criterion is based on the concept of economies of scale. Finally, regarding to the accident criterion, we use the concept of the insurance fee under different scale and risk to estimate the level of accident for different scale. By combining these scores of four criteria with their weightings, the best capacity scale can be determined ultimately.

Keywords

Semiconductor Fabrication, Capacity Scale, Fuzzy Analytic Hierarchy Process, Demand Forecast

晶圆厂最适产能规模决策模式

杜莹美*, 张家玮

中华大学工业管理学系, 新竹市
Email: amytu@chu.edu.tw, wei920509@gmail.com

*通讯作者。

收稿日期：2015年1月

摘要

近年来半导体厂商为了满足需求并提升竞争力，除了在旧厂中增添机台外，也加盖新厂。新厂除了技术层次提升外，最大的特色就是规模加大。然而对于这样大型的晶圆厂，究竟多大的规模才是最佳的设计？因此，本研究提出一套产能规模决策模式以决定一个较佳产能规模。模式中首先透过专家意见定义出需求、绩效、成本、意外为影响规模之重要构面，并运用FAHP方法求算各构面对于产能规模影响之权重值。此外，在决策模式中也针对各个构面对于产能规模的影响加以分析以建构其评分模式。在需求构面方面主要是运用未来之需求预测与该规模之差距比作为评分之标准。绩效构面则使用不同产能规模下之生产周期时间与理论周期时间之比率，并与公司之目标值差异程度作为评分依据。而成本构面则以规模经济之概念探讨在不同产能规模下之设备成本。最后在意外构面方面之评估则是利用保险业依不同产能规模与风险程度考虑收取保费之观念加以应用。综合上述概念，进而发展出最适厂区规模大小之决策模式。

关键词

半导体制造，产能规模，模糊层级分析法，需求预测

1. 引言

半导体产业是一种资本密集、技术密集、知识密集、制程复杂的产业。由于近年来全球消费性电子产品、车用电子设备以及物联网相关产业的需求快速增加，让半导体产业更加蓬勃发展，这也导致半导体产业的竞争越来越大。然而面临这些产业特性，且市场需求高度不确定性的情况下，公司如何在有限的资源中，获得最大的利益，已成为现今主要的问题之一。

近几年来由于需求旺盛且为了降低成本，晶圆厂当中才存在一个特殊情况，就是在原有的厂区找空位来扩充产能，此举使得原先规划良善的设施变得凌乱不堪。而其主要的原因是建厂之初在需求不确定的风险考虑下对于厂区规模的设计不当，使得在面临需求旺盛时，不足以应付产能之需求。此外，近几年许多公司在新厂的建构时都有越盖越大的情形发生。而上述这些原因，不外乎就是要使得工厂迈向所谓的规模经济以降低成本，缩短周期时间、提高交期时间的准确性与因应市场需求变动，使企业更有竞争力。

对于半导体产业每年的资本支出近况都是居高不下，主要是新制程技术机台昂贵，另外是管理者想要提升本身的技术与扩充产能，进而达到所谓的规模经济，使得平均成本下降，为企业带来更大的竞争优势。此外，半导体产业在面临市场需求不确定性与生产技术快速变革的交互影响下，如何有效的提高规模经济所带来的优势，一直都是管理者努力追求的方向，因此孕育出超大型晶圆厂的概念。目前超大型晶圆厂的概念在业界尚未有一套标准来认定，所以通常泛指月产能达十万片以上之晶圆厂，然而单一过大的晶圆厂在生产管理与工安维护上风险过大，因此厂房不会局限在单一区域或单一建筑物上，所以目前皆是藉由自动物料搬运系统连接多个阶段性厂房组成超大型晶圆厂的概念。虽然超大型晶圆厂之优势业界大多已了解，然而单就其建构上来说，目前可以看到阶段厂房越盖越大、连结的阶段厂房个数也不定。这些现象都可以了解管理者至今尚未有完善的理论基础去设定超大型晶圆厂的最适之规模，甚至是每个阶段厂房的最佳规模。

对于过去关于晶圆厂规模大小之探讨上，通常以工厂产能规划角度来进行相关议题之讨论，而从过去的研究中发现在进行产能规划的过程中，最主要的影响因子在于半导体产业之市场需求的高度不确定性与变异性，因此大部分的文献与研究都以线性规划模式，并且将未来的需求趋势假设成为若干具有不同发生机率的需求情境模型，求算优化策略[1] [2]。然而这些相关研究却未在这些重要的“情境”发生机率的计算与制订上多加着墨，以致于在实务上难以应用。Cakanyıldırım 与 Roundy (2002)则提出一套利用多项式时间扩张系数算法(Polynomial time Expansion Algorithm)进行需求不确定下之厂房建设的规划问题，此研究作者并选择瓶颈产能扩充法则(bottleneck policy)作为产能扩充策略[3]。另一个常被使用在高度需求不确定性环境下的方法，是透过系统的仿真进行探讨[4] [5]，而此种方法的优势是在于能将环境需求的不确定性因子，以随机变量的型态设定于仿真系统中，进而求算在受这些不确定性环境因子影响下之最佳决策。Driver 与 Goffinet 提出在需求不确定的情况下，利用扩充产能以降低单位生产成本，再利用低价提高市场占有率以稳定需求面的手法[6]。这是一种反向思考的作为，以当时需求稳定成长的时空背景，这样的作法或许可行；然而，面对需求波动幅度巨大的今日，此种作法或许就显的窒碍难行了。因此如何在对于需求不确定性环境下，利用更合适的方法做出更有效的决策，能使规模经济达成实现，是许多公司目前钻研的目标之一。

因此本研究主要在探讨晶圆厂厂区最适规模大小，虽然规模扩大能使工厂迈向规模经济以降低成本，但规模经济之趋势也非随着产能无限扩张而持续下降，也可能会因过度扩张而导致管理复杂度上升以及其他成本的上升，促使平均成本曲线呈现上升走势，导致规模不经济的情况。因此，企业在面对规模大小设计问题时，需要有一套完整且有条理的全面规划考虑。综合上述，本研究的主要目的是针对晶圆厂最适产能规模大小发展出一套整合型决策模式。接下来下一章节将对本研究之决策模式与概念进行介绍，最后为本研究之结论。

2. 整合型决策模式

本模式将以最适产能规模作为晶圆厂规模决策模式的主要目标。研究中首先透过专家问卷方式了解并取得对于影响产能规模大小主要为需求、绩效、成本、意外四大构面。然而各构面对于产能规模之影响程度势必有所差异，因此利用 FAHP 求算各构面对于产能规模影响之权重值，并且分别针对各构面下建立一套评分模式。而研究中利用市场需求变化趋势、生产周期时间、设备的成本、以及意外风险的考虑作为晶圆厂最适产能规模决策中各评分模式的建构因子。结合上述之各构面权重以及各构面评分模式，完成如下之整合型模式，管理者可藉由此模式得知自身企业环境条件下最适厂区规模。

$$MaxZ_i = W_i D(S) + W_i P(S) + W_i C(S) + W_i A(S)$$

$$\sum_{i=1}^4 W_i = 1$$

where W_i = 第 i 构面之权重值。

2.1. 各构面之指针计算模式

由于各构面因子优劣趋势不尽相同，对于各项构面评分模式之计算，首先各模式针对此项问题加以修正使其之间优劣趋势一致，并以望大特性作为本研究之趋势表现，而各构面模式下之得分范围将介于 0 至 100。各构面评分模式与概念说明如下：

2.1.1. 需求构面

供过于求与供不应求都对于在一个生产规模的规划者而言都是不愿意见到的问题，尤其生产规模规划属于长期规划，不良的供需安排将使的投资风险升高，因此本需求构面模式即以此概念进行建构。模

式里首先计算各期需求的预测值与生产规模之比值，此结果可以判定相同生产规模与各期需求之间优劣，最后以业界对于厂房折旧之期限作为依据进行累加，使长期规画之特性纳入模式考虑，接着藉由相关参数修正使其构面评分介于 0~100，其函数式如下：

$$D(S) = 100 - \left[\frac{\left(\sum_{i=1}^{60} \left| \frac{DF_i}{S} - 1 \right| \right)}{60} \right] \times 100$$

where $D(S)$ = 厂区规模 S 下之需求因子评分值， DF_i = 第 i 个月的需求预测， S = 厂区规模。

2.1.2. 绩效构面

在半导体产业中生产周期时间一直是一项评估系统好坏与否的重要指标。本绩效构面模式是以 X-factor 概念为其建构核心，透过不同规模下之生产周期时间的估算以及取得其与理论生产周期时间之比值，并与管理者理想之指标进行比较，从而判断不同规模在绩效构面的表现优劣，最后透过相关的参数调整使其构面评分特性为望大，且分数介于 0~100，其模式架构如所示：

$$P(S) = 100 - \left(\frac{CT(S)}{CT_{th}} - \alpha \right) \times 100$$

where $P(S)$ = 厂区规模 S 下之绩效因子评分值， $CT(S)$ = 厂区规模 S 下之产品平均周期时间， CT_{th} = 产品平均之理论周期时间， α = 公司 X factor 之理想值。

2.1.3. 成本构面

成本构面则是运用规模经济之概念为基础，其中 β 值为管理者对现有规模正常产出量之评价分数。此成本构面评估模式中首先计算不同规模与现有规模下之单位投资成本比值，此比值如大于一则表示新规模之规模经济效益较大，反之则否。最后再透过相关的评分修正使其模式评估分数，介于 0~100 且亦是望大特性，其概念模式表示如下：

$$C(S) = \beta + (100 - \beta) \times \left(\frac{UCI(S)}{UCI_0} - 1 \right)$$

where $C(S)$ ：厂区规模 S 下之成本因子评分值， β ：正常产出之基本评分， $\beta = 0 \sim 100$ ， $UCI(S)$ ：厂区规模 S 下之单位投资成本， UCI_0 ：厂区规模 30 K 下之单位投资成本。

2.1.4. 意外构面

对于意外构面则是利用保险业依不同产能规模与风险程度考虑收取不同保费之观念进行建构，而此意外构面模式将以产能规模 30 K 作为基础规模，计算不同产能规模下之保险费与产能规模 30 K 下之保险费差距与基础规模下保费之比值，并利用期望值之概念将此比值与意外风险系数作相乘，最后将此结果予以调整使其符合望大特性，而此意外构面模式得分将介于 0 至 100，其模式如下所示：

$$A(S) = 100 - \left(\frac{IF(S) - \theta}{\theta} \right) \delta$$

where $A(S)$ ：厂区规模 S 下之意外因子评分值， $IF(S)$ ：厂区规模 S 下之保险费， θ ：厂区规模下 30 K 之保险费， δ ：意外因子之风险系数， $\delta = 0 \sim 100$ 。

2.1.5. 权重计算模式

模糊层级分析法(Fuzzy Analytic Hierarchy Process, FAHP)使用步骤如下：

步骤一：建立问题之架构。

步骤二：建立成对比较矩阵：将所回收的专家问卷，建立准则及准则间相依关系之成对比较矩阵[7]。

步骤三：将原始成对比较矩阵，藉由模糊语意量表将各系数转换成正三角模糊数，进而建构出模糊成对比较矩阵[8]，并且汇整专家之模糊成对比较矩阵，利用几何平均方式整合各专家之成对比较三角模糊数，做出准则间之三角模糊成对比较矩阵[9] [10]。

步骤四：解模糊化：利用重心法原理，将准则与准则间相依关系之模糊成对比较矩阵解模糊转成明确值。

步骤五：权重与特征向量计算：将解模糊化矩阵计算出特征向量。

步骤六：验证一致性：将每份专家问卷进行一致性检定，本阶段能了解专家完成之问卷是否符合 Saaty 所提及的一致性效果($CR \leq 0.1$) [7]。

3. 结论

综合上述理论，管理者想要提升本身的技术与扩充产能，然而在需求高度不确定的环境下，如何符合所谓的规模经济，让平均成本与生产周期时间能够下降，使得企业更有竞争优势。而无限的扩充产能规模并非平均成本曲线也会有下降的趋势，可能因过度的扩张导致管理上的困难以及其他成本的上升，使得平均成本曲线往上之趋势，反造成规模不经济的效果。

透过本研究之整合模式，可让管理者对于未来要扩充规模时，不再对于高度需求不确定的环境下，只能运用预测或历史资料之方法做判断，而是可针对本研究发展出之模式下每项构面上着手，将企业所需之参数套用，进而得到评分值的高或低，使得管理者在决策上有个分数依据可以来判断，并经过分数来了解此规模是否为最适，让企业对于规模之建立可以更明确、有方向性，进而帮助在建厂初期能有个最适规模之概念，使得企业更有竞争力。

致 谢

The authors would like to thank the Ministry of Science and Technology for financially supporting this research under Contract No. MOST 102-2221-E-216-030.

参考文献 (References)

- [1] Chou, Y.C., Cheng, C.T., Yang F.C. and Liang, Y.Y. (2007) Evaluating alternative capacity strategies in semiconductor manufacturing under uncertain demand and price scenarios. *International Journal of Production Economics*, **105**, 591-606.
- [2] Hood, S.J., Bermon, S. and Barahona, F. (2003) Capacity planning under demand uncertainty for semiconductor manufacturing. *IEEE Transactions on Semiconductor Manufacturing*, **16**, 273-280.
- [3] Cakanyildirim, M. and Roundy R.O. (2002) Optimal capacity expansion and contraction under demand uncertainty. Working Paper.
- [4] Lin, J.F. (2006) The study of the economical scale of a semiconductor plant through simulations. Master Thesis, Department of Mechanical Engineering, National Taiwan University, Taipei.
- [5] Hung, Y.F. and Leachman, R.C. (1996) A production planning methodology for semiconductor manufacturing based on iterative simulation and linear programming calculations. *IEEE Transactions on Semiconductor Manufacturing*, **9**, 257-269.
- [6] Driver, C. and Goffinet, F. (1998) Investment under demand uncertainty, ex-ante pricing, and oligopoly. *Review of Industrial Organization*, **13**, 409-423.
- [7] Saaty, T.L. (1980) *The Analytic Hierarchy Process*. McGraw-Hill, New York.
- [8] Buckley, J.J. (1985) Fuzzy hierarchical analysis. *Fuzzy Sets and Systems*, **17**, 233-247.
- [9] Teng, J.Y. and Tzeng, G.H. (1989) The content and application of analytic hierarchy process. *Journal of the Chinese*

Statistical Association, **27**, 13767-13786.

- [10] Tzeng, G.H. (2001) Project evaluation: The lecture notes of theory and practice. Department of Industrial Engineering and Management Information, Huafan University, Taipei.