

THÈSE

présentée par

Johann PARROCHON

pour obtenir le diplôme de
DOCTEUR DE L'UNIVERSITÉ DE SAVOIE
(Arrêté ministériel du 30 mars 1992)

Spécialité : E.E.A.

Supervision de la pression des effluents gazeux dans des équipements semi-conducteurs sous vide

Soutenue à huis clos le 30 mars 2005 devant le jury composé de :

Bernard SALCE	Rapporteur	Chercheur au CEA Grenoble
Pascal BROCHET	Rapporteur	Professeur à l'Ecole Centrale de Lille
Ali CHARARA	Examineur	Professeur à l'Université de Technologie de Compiègne
Maurice PILLET	Examineur	Professeur à l'Université de Savoie
Roland BERNARD	Examineur	Directeur du Département BDAS ADIXEN (Alcatel Vacuum Tech.)
Jacques LOTTIN	Directeur de thèse	Professeur à l'Université de Savoie

Préparée au sein du LISTIC
Laboratoire d'Informatique, Systèmes, Traitement de l'Information et de la Connaissance

École Supérieure d'Ingénieurs d'Annecy

Et au sein de ADIXEN (Alcatel Vacuum Technology)
Laboratoire Applications Semi-conducteurs

CONCLUSION GENERALE

A la fin des années 90, les fabricants de pompes à vide, et les équipementiers en général, se sont intéressés de plus près aux préoccupations de leurs clients de l'industrie de la microélectronique. Tout en continuant à développer ses produits pour les rendre plus fiables et plus performants, ADIXEN s'est ouvert à de nouvelles applications, à de nouvelles façons d'utiliser ses propres produits, dans le but de proposer à ses clients des solutions inédites pour améliorer leur productivité.

Ainsi en est-il de la régulation de pression par vitesse variable de pompe, dont le but est de remplacer les vannes de régulation. La vitesse variable a été explorée dans un précédent travail de thèse mené entre 1999 et 2002 ; il concernait une étape particulière dans la fabrication d'un circuit intégré, et a abouti à l'industrialisation d'un produit. L'idée est ensuite venue d'adapter ce produit à toutes les recettes et tous les équipements, et cette idée est à l'origine du travail présenté dans ce rapport.

L'étude réalisée se distingue donc de la précédente par son caractère exhaustif. Il s'agit là d'anticiper le plus de situations clientes possibles pour lesquelles peut s'appliquer la vitesse variable. Cela implique d'élargir tout en l'affinant la connaissance que l'on a du comportement dynamique de la pression, afin d'en construire la régulation robuste et performante (correcteur – planification de trajectoire – inversion dynamique).

On a dans un premier temps cherché une méthode pour identifier de façon automatique le comportement dynamique de la pression. A cette fin, un banc de test a été construit, qui reproduit les conditions d'un équipement client. Les variables d'actions qui agissent directement sur la pression sont la vitesse de rotation de la pompe, et le flux injecté. Ces deux commandes du système sont appliquées sous la forme de Séquences Binaires Aléatoires, et le traitement du signal de réponse en pression est assuré par le logiciel Matlab, qui effectue une identification selon le modèle de Box-Jenkins. La réponse à l'échelon expérimental est utilisée comme complément et pour valider les modèles obtenus. La structure choisie pour les modèles dynamiques est un second ordre retardé.

Dans un second temps, on a étudié la dynamique de la pression dans l'espace paramétrique associé à l'équipement. Cet espace paramétrique est construit à partir des variables et des

paramètres géométriques ayant une influence connue sur la valeur en statique de la pression, mais dont on ignore l'effet sur le comportement dynamique.

Six variables et paramètres ont été retenus pour construire le modèle global de la dynamique de la pression : la vitesse de la pompe primaire, le flux injecté dans l'enceinte, le flux de dégradation de la pompe primaire, la longueur de la canalisation, sa section, et le volume de l'enceinte. Le modèle global est composé de deux parties : une partie concerne le pompage primaire uniquement, l'autre concerne le pompage secondaire et s'appuie sur la connaissance du pompage primaire. On a ainsi pu prendre en compte certains facteurs géométriques qu'il aurait techniquement été impossible d'étudier directement dans le cas du pompage secondaire.

La Méthode des Plans d'Expériences a été largement mise à contribution pour réaliser ces modèles, étant donné le nombre important de variables à étudier, et le temps nécessaire pour faire une identification, ne serait-ce que celui de mise à l'équilibre du banc de test.

Finalement, on a établi une procédure d'adaptation du modèle global à tout type d'équipement client, ce qui correspond à la volonté d'ADIXEN d'étendre la régulation de pression par vitesse variable à des procédés autres que celui de gravure aluminium. Ainsi, les futures installations du système chez des clients pourront bénéficier des solutions de régulation plus performantes, prenant appui sur les modèles construits ; l'étape suivante concerne donc la construction du système d'asservissement lié aux modèles.

Le second sujet abordé au cours de cette thèse concerne le recyclage des gaz fluorés utilisés pour le nettoyage des chambres de dépôt d'oxyde de silicium. La vitesse variable est là aussi utilisée, non plus pour réguler la pression, mais pour réguler la quantité d'effluents gazeux.

La partie concernant le recyclage du fluor s'inscrit dans un contexte concurrentiel : plusieurs brevets ont été déposés par différentes entreprises au cours des trois dernières années. ADIXEN possède aujourd'hui un brevet qui se différencie des autres car la solution de recirculation des gaz qu'il propose n'induit pas de forte augmentation de pression, contrairement aux solutions concurrentes. Or le maintien du système à basse pression garantit la sécurité vis-à-vis du danger que représentent les gaz fluorés produits au cours des réactions de nettoyage.

De plus, la pompe dédiée à la recirculation permet d'évacuer les sous-produits de réaction indésirables qui ont été piégés par le froid pendant le nettoyage de la chambre. Cette étape de régénération peut avoir lieu en "temps masqué", pendant que se fait le dépôt, car elle n'aura aucune influence sur ce procédé.

Afin d'approcher au mieux les caractéristiques physico-chimiques d'un nettoyage standard, c'est à dire sans système de recyclage associé, on a conçu un modèle mathématique dont le résultat est le flux de recirculation nécessaire pour garantir un flux d'atomes de fluor identique à celui mesuré

pour un nettoyage standard. Ce flux de recirculation est contrôlé par vitesse variable de la pompe de recirculation.

Le prototype est prêt à être testé sur équipement client et ces tests en conditions réelles de procédés permettront de valider la viabilité du système, ainsi que le modèle mathématique de calcul du flux d'atomes de fluor. En outre, il sera possible de savoir si la réinjection des sous-produits du nettoyage est interdite ; si ce n'est pas le cas, le piégeage cryogénique deviendrait inutile, ce qui permettrait de réduire le coût du système de recyclage.