

Client

SECTEUR

Énergie renouvelable

PROFIL DE L'ORGANISATION

- Société fondée en 2001
- Cotée au NASDAQ depuis 2006
- Siège social en Ontario, Canada

Résumé du cas

DÉFI

L'une des plus grandes sociétés spécialisées dans les technologies solaires et l'énergie renouvelable au monde avait besoin de contrôler l'épaisseur de son film en nitrure de silicium pour améliorer les niveaux d'efficacité énergétique des surfaces des cellules photovoltaïques après avoir découvert que certains des films produits n'étaient pas conformes aux normes internes.

SOLUTION

En ayant recours aux puissants outils de représentation graphique et d'analyse proposés par Minitab® Statistical Software et Minitab Engage™, l'entreprise a été en mesure d'identifier les raisons des différences constatées dans l'épaisseur du film et de corriger les problèmes. Cette intervention lui a permis d'augmenter de 7 % l'efficacité énergétique des panneaux solaires finis, qui est ainsi passée de 81 % à 88 %, et de plus de 100 000 dollars ses revenus annuels globaux.

Minitab aide un important producteur d'énergie solaire à augmenter son efficacité énergétique et ses revenus annuels de plus de 100 000 dollars par an

Le client de Minitab® est l'une des plus grandes sociétés spécialisées dans les technologies solaires et l'énergie renouvelable au monde. Il compte parmi les principaux fabricants de panneaux photovoltaïques solaires et offre des solutions d'énergie solaire depuis plus de 20 ans. L'entreprise veille à fournir de l'électricité propre à un prix compétitif à d'importants acheteurs d'énergie et met fièrement en avant les efforts qu'elle déploie dans le domaine du développement durable. Elle est cotée au NASDAQ depuis 2006 et a été nommée "Fabricant le plus bancable" par l'organisation Bloomberg New Energy Finance (BNEF) en 2020.



INTRODUCTION DE CONTRÔLES QUALITÉ À PARTIR D'UNE PUISSANTE ANALYSE STATISTIQUE

Après avoir constaté la présence de variations au cours de son procédé de fabrication, le producteur d'énergie solaire a utilisé Minitab Statistical Software et Minitab Engage pour contrôler l'épaisseur de son film en nitrure de silicium. Au moyen de diagrammes d'Ishikawa et d'autres outils de brainstorming disponible dans Minitab Engage, l'équipe a réussi à affiner la liste des facteurs susceptibles d'être à l'origine de la variation. Des analyses de capacité et des cartes de contrôle ont ensuite été utilisées pour déterminer rapidement les conditions de fabrication idéales. En ayant recours à la puissante analyse statistique de Minitab, l'équipe a pu prendre des mesures ciblées et précises afin de résoudre le problème d'épaisseur. Au final, cela lui a permis d'augmenter de 7 % l'efficacité énergétique des panneaux solaires produits, qui est ainsi passée de 81 % à 88 %, et d'augmenter de plus de 100 000 dollars ses revenus annuels globaux.

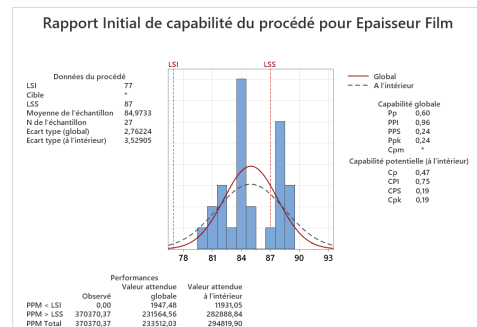
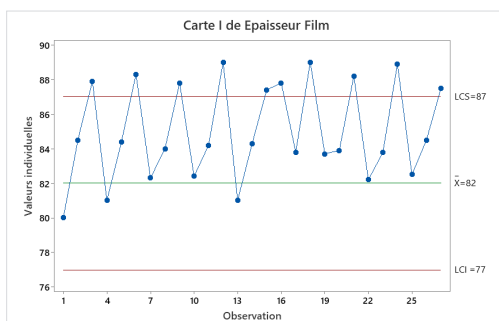
“ Nous procédions auparavant à des tests continus en aveugle, mais désormais, nous pouvons finalement tester nos hypothèses d'un point de vue quantitatif. Minitab nous a beaucoup aidés.”

Responsable R&D chargé de l'amélioration technologique et du développement de nouveaux produits

Le défi

Présence d'incohérences dans le procédé de fabrication en raison de facteurs non identifiés.

Le responsable du département Recherche et Développement du site d'un producteur d'énergie solaire basé à Shanghai (Chine) s'est trouvé confronté à un problème. Son équipe a découvert que le procédé de fabrication de l'entreprise générait des niveaux de variabilité inacceptables dans l'épaisseur des films en nitrure de silicium. Elle a donc eu besoin de contrôler l'épaisseur du film pour améliorer les niveaux d'efficacité énergétique des surfaces des cellules photovoltaïques et respecter les normes internes. Idéalement, le film doit présenter une épaisseur comprise entre 77 et 87 nm.



Comme le montrent les illustrations ci-dessus reflétant le procédé initial, l'équipe a découvert que l'épaisseur du film dépassait la limite supérieure (voir la carte de contrôle) et que le procédé ne fonctionnait pas correctement. La plupart des données se situaient au-dessus de la moyenne et la capacité du procédé était relativement faible. Par conséquent, le taux de défauts au sein du procédé actuel était très élevé.



LES OUTILS MINITAB UTILISÉS



Pour observer les données actuelles et passées dans le but d'identifier des tendances, de trouver et de prévoir des schémas, ainsi que de découvrir des relations cachées entre les variables.



Des outils de brainstorming ont été utilisés pour formuler des hypothèses au sujet de la variance et réduire les possibilités.

La solution

L'équipe en charge du projet avait besoin d'analyser les raisons de cette variation importante au niveau de l'épaisseur du film et d'éliminer les facteurs possibles.

IDENTIFIER LA CAUSE PROFONDE SUR LA LIGNE DE PRODUCTION

L'équipe souhaitait déterminer si les écarts au niveau de l'épaisseur du film étaient causés par le système de mesure ou des erreurs de procédé. Elle a utilisé la plate-forme de test de produit Topcon, un outil de test standard dans le secteur, pour mesurer l'épaisseur du film et l'indice de réfraction.

L'équipe a ensuite procédé à une analyse des systèmes de mesure, un outil de Minitab, pour vérifier si la variabilité était causée par le système de mesure lui-même :

Evaluation de l'instrumentation

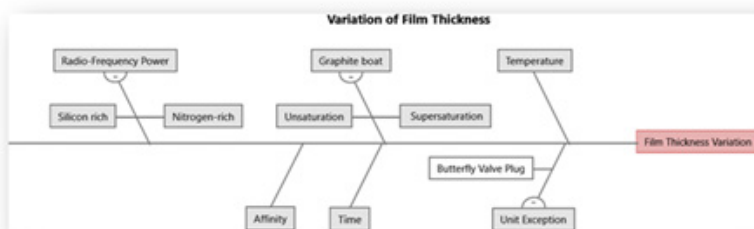
Source	Ecart type	Variations d'étude (6 × écart type)	% var étude (%VE)
R&R de l'instrumentation totale	0,0002956	0,0017737	9,16
Répétabilité	0,0002694	0,0016166	8,35
Reproductibilité	0,0001216	0,0007298	3,77
Opérateur	0,0001216	0,0007298	3,77
De pièce à pièce	0,0032140	0,0192842	99,58
Variation totale	0,0032276	0,0193656	100,00

Nombre de catégories distinctes = 15

La valeur de mesure générée par l'analyse, R&R de l'instrumentation, s'élève à 9,16, soit un peu moins de 10 %, ce qui indique que le système de mesure Topcon est conforme aux exigences et qu'il n'est pas à l'origine des problèmes rencontrés.

AFFINER LES POSSIBILITÉS AVEC LES OUTILS DE BRAINSTORMING DE MINITAB

Toujours à la recherche d'éventuels facteurs d'influence, l'équipe a utilisé le diagramme d'Ishikawa (également connu sous le nom de diagramme des causes et effets) dans Minitab Engage pour procéder à un brainstorming.



INFORMATIONS GÉNÉRALES SUR LES CELLULES PHOTOVOLTAÏQUES EN SILICIUM CRISTALLIN

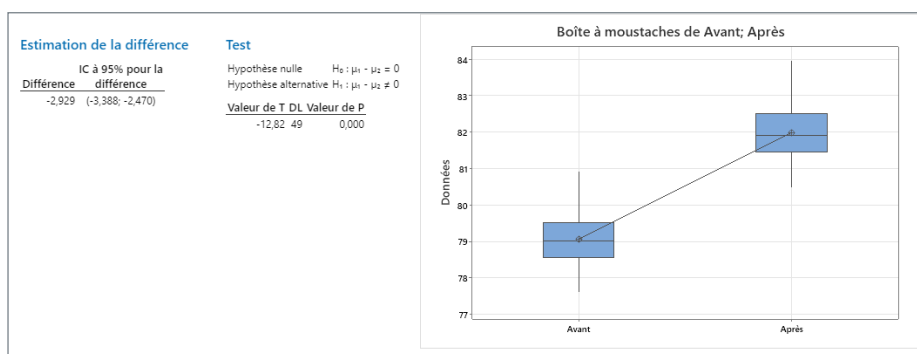
- Lors du procédé de production, il est essentiel de réduire la réflexion sur la surface avant de la cellule photovoltaïque et de procéder à la passivation de sa surface en silicium.
- L'index de réfraction du silicium cristallin correspond généralement à 3,8. Si la surface lisse en silicium est placée dans l'air avec un indice de réfraction de 1, la réflectivité peut atteindre 30 %.
- Au cours du procédé de fabrication, un film diélectrique transmettant la lumière est inséré entre la surface en silicium et l'air de façon à réduire la réflexion de la surface. La détermination de l'épaisseur appropriée est au coeur de cette étude de cas.

IDENTIFIER UNE CAUSE AVEC DES TESTS D'HYPOTHÈSE SIMPLES

Grâce au diagramme d'Ishikawa et à l'expérience du responsable, l'équipe a identifié deux raisons possibles permettant de supposer que la variation de l'épaisseur du film en nitrure de silicium pouvait être due soit à un dysfonctionnement de l'équipement, soit à un problème au niveau du procédé :

- La fréquence de nettoyage de la vanne papillon, une vanne qui régule le débit des fluides située dans l'équipement de revêtement
- La température du four et l'emplacement du silicium dans le four

Dans un premier temps, l'équipe a cherché à savoir si le nettoyage de la vanne papillon située dans l'équipement de revêtement était un problème. Pour cela, elle a créé un test t à 2 échantillons dans Minitab pour vérifier si la fréquence de nettoyage de la vanne papillon influait fortement sur l'épaisseur du film.



Une fois l'analyse réalisée, l'équipe a trouvé que la valeur de p était inférieure à 0,05. Ce résultat indique qu'il existe une différence importante au niveau de l'épaisseur du film avant et après le nettoyage de la vanne papillon. En d'autres termes, le nettoyage de la vanne papillon a un effet important sur l'épaisseur du film. Eurêka !



DÉTERMINER LES TEMPÉRATURES IDÉALES AVEC UNE ANALYSE DE RÉGRESSION

Afin de tester la deuxième raison possible (température du four et emplacement relatif du silicium dans le four), l'équipe en charge du projet a enregistré les données réelles de température et d'épaisseur du film à trois emplacements différents au niveau du four : i) la bouche, ii) la partie centrale et iii) la partie inférieure, respectivement.

Analyse de la variance

Source	DL	Som	Car ajust	CM ajust	Valeur F	Valeur de p
Régression	3	250,471	83,490	3556,84		0,000
Tempé réelle	1	202,861	202,861	8642,25		0,000
Position	2	106,088	53,044	2259,78		0,000
Erreur	14	0,329	0,023			
Inadéquation de l'ajustement	10	0,144	0,014	0,31		0,939
Erreur pure	4	0,185	0,046			
Total	17	250,800				

L'équipe a utilisé l'analyse de régression de Minitab, présentée ci-dessus, pour tester différents emplacements et différentes températures, ainsi que leurs relations relatives.

Equation de régression

Position

bas du four $\text{Epaisseur} = -116,54 + 0,41367 \text{ Tempé réelle}$

entrée du four $\text{Epaisseur} = -129,43 + 0,41367 \text{ Tempé réelle}$

milieu du four $\text{Epaisseur} = -116,54 + 0,41367 \text{ Tempé réelle}$

Grâce au modèle de régression ci-dessus, elle a pu constater que la température et l'emplacement du silicium dans le four représentaient deux facteurs significatifs. Elle a alors essayé de déterminer la valeur des températures au niveau de la bouche, de la partie centrale et de la partie inférieure du four, ainsi que la température effective pour tester les relations entre les différents facteurs.

LES DÉCOUVERTES

Grâce à l'analyse de capacité et aux cartes de contrôle de Minitab, l'équipe a identifié les conditions nécessaires pour obtenir des films en nitrure de silicium à l'épaisseur idéale :

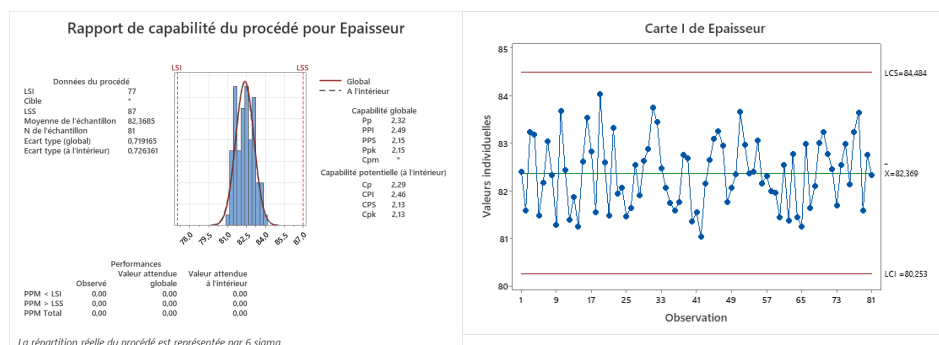
- Nettoyage deux fois par jour des vannes papillon
- Détermination de températures raisonnables au niveau du four. Le résultat du procédé a démontré que les températures idéales aux trois emplacements respectifs du four devaient être les suivantes : 500 °C/932 °F au niveau de la bouche, 480 °C/896 °F dans la partie centrale et 472 °C/881 °F dans la partie inférieure

“ Tout au long des différentes étapes des processus de découverte, de test de l'hypothèse, de confirmation et de résolution des problèmes, Minitab Statistical Software a permis non seulement de réduire le délai de résolution des problèmes, mais également de renforcer la confiance dans les décisions prises par les membres de l'équipe.”

Responsable R&D chargé de l'amélioration technologique et du développement de nouveaux produits

Les résultats

En ayant recours à l'analyse statistique, l'équipe a rapidement déterminé les paramètres les plus appropriés pour le procédé. Les paramètres du procédé ont été ajustés au sein du modèle de régression de Minitab, ce qui a permis de garantir la stabilité de l'épaisseur du film en nitrure de silicium. Une fois les paramètres ajustés, l'équipe a réalisé une analyse de vérification qui a permis de conclure que les températures idéales devaient être réglées sur 500 °C, 480 °C et 472 °C pour les trois emplacements respectifs. Dans le même temps, la valeur Cpk était supérieure à 1,67 et l'indice de capabilité du procédé était élevé, bien supérieur à la valeur cible prédéfinie.



La puissante analyse statistique de Minitab a permis à l'équipe de prendre des mesures très précises et ciblées. “Nous procédions auparavant à des tests continus en aveugle, mais désormais, nous pouvons finalement tester nos hypothèses d'un point de vue quantitatif. Minitab nous a beaucoup aidés”, explique le responsable de l'équipe. “Tout au long des différentes étapes des processus de découverte, de test de l'hypothèse, de confirmation et de résolution des problèmes, Minitab Statistical Software a permis non seulement de réduire le délai de résolution des problèmes, mais également de renforcer la confiance dans les décisions prises par les membres de l'équipe.”

En comprenant comment contrôler l'épaisseur du film en nitrure de silicium et en étant capable de le faire, l'équipe a amélioré de 7 % l'efficacité énergétique des panneaux, qui est ainsi passée de 81 % à 88 %. Selon des estimations réalisées à partir d'une production actuelle de 6 048 tubes par jour, cette mesure a permis à l'entreprise d'augmenter ses revenus annuels de 650 000 CNY, soit 101 400 dollars.



Donner un coup d'accélérateur aux innovations :

MINITAB STATISTICAL SOFTWARE ET MINITAB ENGAGE

[Minitab Statistical Software](#) dispose des outils statistiques les plus fiables du marché, disponibles à la fois sur votre ordinateur de bureau et sur le cloud, pour tirer le meilleur parti des données, déceler des tendances, trouver et prévoir des schémas, découvrir des relations cachées entre différentes variables et créer de magnifiques visualisations afin de surmonter les défis et les situations les plus complexes.

Grâce à de puissantes méthodologies éprouvées de résolution des problèmes et à des outils efficaces de brainstorming, de création de diagrammes et de cartographie, [Minitab Engage](#) est la seule solution capable d'attribuer, de suivre, de gérer et de visualiser les idées et les projets d'innovation afin de les mener à bien.

Grâce à l'efficacité des statistiques, une analyse des données de premier plan et des visualisations dynamiques, les possibilités sont infinies.

À PROPOS DE MINITAB

Minitab aide les entreprises et les institutions à identifier les tendances, à résoudre les problèmes et à mieux comprendre les données en proposant une suite complète et performante d'outils d'amélioration des procédés et d'analyse des données. Associé à une simplicité d'utilisation sans égale, Minitab facilite plus que jamais la compréhension approfondie des données. Par ailleurs, une équipe d'experts et de services en analyse de données hautement qualifiés s'assure que les utilisateurs tirent le meilleur parti de leurs analyses, en leur permettant de prendre plus rapidement des décisions à la fois plus éclairées et plus pertinentes.

Depuis près de 50 ans et grâce à ses solutions propriétaires, Minitab épaula les organisations en matière de maîtrise des coûts, d'amélioration de la qualité, d'augmentation de la satisfaction client et de gain d'efficacité. Des milliers d'entreprises et d'institutions du monde entier utilisent Minitab® Statistical Software, Minitab Connect™, Salford Predictive Modeler®, Minitab Workspace®, Minitab Engage™ et Quality Trainer® pour déceler les failles et les opportunités dans leurs procédés afin de les améliorer. Minitab Solutions Analytics™ constitue l'approche propriétaire intégrée de Minitab pour fournir des logiciels et des services qui permettent aux entreprises de prendre de meilleures décisions afin d'atteindre l'excellence opérationnelle.

Pour en savoir plus sur Minitab, rendez-vous sur www.minitab.com.