

Comment des défauts invisibles dans le saphir peuvent affecter la gravure par laser ?

Les marques horlogères inscrivent souvent des décorations tels que logos dans les glaces saphir de leurs montres. Sur certaines glaces, le processus de gravure au laser ne s'avère pas homogène et donc ne crée pas l'aspect décoratif espéré. Scientific Visual fait le point sur l'identification de défauts invisibles responsables de ce problème.

Les standards de qualité de l'industrie horlogère exigent un processus de gravure homogène et sans défaut observable par l'utilisateur. Malgré un contrôle poussé au préalable des glaces saphir polies, il s'avère que certains défauts non identifiables par méthode traditionnelle affectent la qualité de la gravure.

En mai 2021, Scientific Visual, une société spécialisée dans l'analyse de la qualité des cristaux industriels, a été sollicitée par une marque horlogère Suisse qui grave ces motifs sur des glaces saphir. Si certains motifs créés correspondaient bien aux résultats escomptés, sur d'autres échantillons (préparages), le faisceau laser a induit des altérations non-désirées. Ce problème est apparu de manière aléatoire et a affecté un nombre important de glaces bien que le contrôle de qualité du client n'a révélé aucun défaut matériel dans les glaces destinées à la réalisation de la gravure.

Scientific Visual a été mandaté pour identifier l'origine du problème.

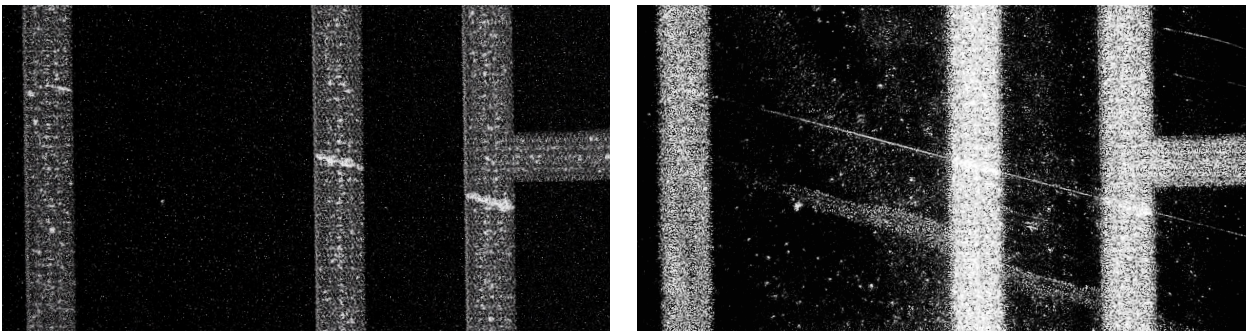


Fig 1a (gauche) : Image d'une gravure non-homogène. Les zones de haute luminosité montrent les défauts de l'inscription, qui sont visibles à l'œil nu. Fig 1b (droite) : Même zone avec des défauts cristallins sous-jacents visualisés par Scientific Visual et indétectable par méthode traditionnelle.

Il est apparu que le problème était causé par des dislocations du réseau cristallin. Il s'agit d'un défaut de taille atomique - un glissement d'un grand nombre d'atomes sujets à une contrainte de traction ou de compression. Les atomes d'un des plans avoisinants rompent leurs liaisons et se lient à nouveau avec les atomes situés à plusieurs plans de distance. Chaque dislocation résulte du mouvement simultané de nombreux atomes le long du même plan de glissement (voir encadré).

Ces dislocations étaient initialement présentes dans les préparages. Elles ont localement endommagé les propriétés photo-élastiques du cristal de saphir de sorte que l'interaction du faisceau laser avec ces zones disloquées a conduit à une modification incontrôlée de la matière environnante.

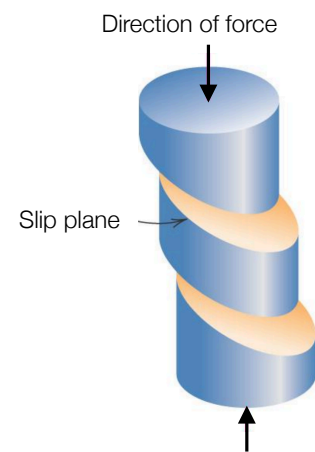
Ces dislocations trouvent leur origine lors de la croissance ou lors du refroidissement du saphir. Bien qu'ils soient présents dans différentes méthodes de croissance, ces défauts sont plus fréquents dans les carottes Verneuil causés par les contraintes thermiques pendant la croissance. Dans ce dernier cas, les plans de glissement pourraient apparaître plus tard, déjà à des stades post-croissance, lorsque le cristal de la carotte se "détend". La combinaison de ces deux causes est également possible.

Bien que de tels défauts de taille atomique ne puissent pas être observés avec les méthodes optiques classiques, comme le montre la Figure 1a, la technologie de Scientific Visual identifie ces défauts. La Figure 1b montre une image de la même zone mesurée par tomographie optique. Elle révèle comment les dislocations sous-jacentes ont causé l'inhomogénéité de la gravure.

La détection de tels défauts au sein d'un préparage saphir offre deux possibilités aux clients de Scientific Visual. Cela lui permet soit de choisir d'écarter les préparages contenant des dislocations de cisaillement, soit d'utiliser les données de position des défauts pour orienter le cristal avant l'inscription afin d'éviter les zones défectueuses.

Indépendamment de l'origine d'un défaut, il est avantageux de connaître son emplacement précis et sa morphologie pour maintenir un rendement de production compétitif. Les outils de contrôle de la qualité développés par Scientific Visual révèlent les défauts cachés des cristaux non traités avant qu'ils n'entrent dans la phase coûteuse de production. Ils permettent également d'ajuster l'usinage et d'accumuler des statistiques de qualité de cristaux afin d'optimiser les paramètres de croissances.

La mission de Scientific Visual est de donner à chaque fabricant de cristaux le moyen d'augmenter le rendement de sa production.



Principe d'une dislocation de cisaillement

Même lorsque la contrainte appliquée est en traction, les composantes de cisaillement existent dans des directions autres que parallèles ou perpendiculaires à la direction de la force. Pour un cristal sous tension, le glissement se produira le long des plans les plus favorablement orientés. Dans le réseau cristallin hexagonal du saphir, il s'agit des plans r , orientés à $115,2^\circ$ par rapport à l'axe c du cristal.