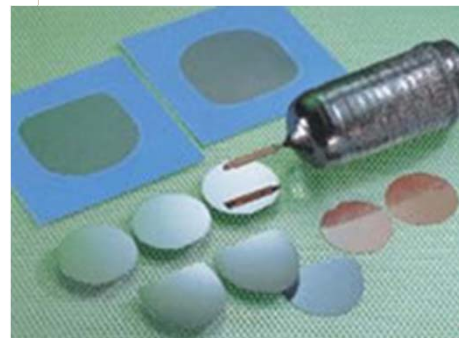


Le gallium

www.mineralinfo.org



© Showa Denko

Décembre 2011

Métal sous-produit de la filière de production d'aluminium, utilisé pour la fabrication de semi-conducteurs pour l'électronique, ainsi qu'en optique et en photovoltaïque.

> Propriétés

Le gallium (Ga) est le 31^{ème} élément du tableau de Mendeleïev.

C'est un métal tendre et cassant, de couleur blanc-argenté, qui n'existe pas à l'état libre dans la nature et qui a la particularité de fondre à 29,76°C.

Les propriétés physiques de ses composés sont intéressantes, et ceux-ci très utilisés : l'arséniure de Ga comme semi-conducteur en électronique, le nitrure de Ga pour les diodes, les phosphures de Ga (avec In et Al) pour les composants optoélectroniques, les circuits intégrés...

Le diséléniure de cuivre-indium-gallium $Cu(Ga,In)Se_2$ (ou CIGS) est de plus en plus utilisé dans les cellules photovoltaïques en couches minces.


> Usages

Le gallium a une vaste gamme d'applications, en **électronique haute-fréquence**. L'industrie des semi-conducteurs utilise de plus en plus l'arséniure de gallium GaAs, à grande mobilité d'électrons, dans les microprocesseurs, les circuits intégrés, les puces WiFi, les micro-ondes, les cellules photovoltaïques, les dopants lasers, les transistors hyper-fréquence, etc.

Ce secteur industriel représente 90% de la consommation mondiale de gallium.

Le nitrure de gallium GaN est très performant en **optoélectronique**, pour la fabrication de diodes électroluminescentes (LED) à lumière blanche pour ampoules à basse consommation (qui restent chères et réservées aux éclairages publics, aux ampoules pour automobile..), dans les écrans plats, les diodes laser (CD, DVD), les photo-détecteurs.

Le phosphure de gallium (GaP) est également utilisé pour la fabrication de composants optoélectroniques et de circuits intégrés.

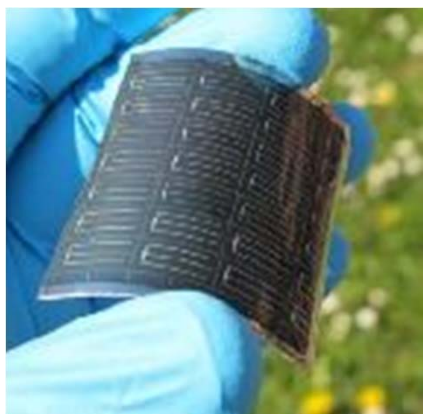
N° atomique	Masse atomique	
31	9,012	
Ga		31
Gallium		69.723
Pt de fusion	Pt d'ébullition	Gallium
29.76°C	2 229°C	
Densité	Clarke	
5,91	19 ppm	

© periodictable.com

> Usages (suite)

Cellules photovoltaïques : la technologie à couche mince CIGS (Cuivre, Indium, Gallium et Sélénium) permet de réaliser des panneaux photovoltaïques très fins, d'un rendement moindre que les panneaux au silicium, mais demandant moins d'énergie à élaborer et d'un coût de production plus faible.

Les cellules CIGS, plus légères, permettent de créer des panneaux photovoltaïques flexibles et semi-transparents qui peuvent être installés sur des supports souples, ou qui ne supporteraient pas le poids des panneaux traditionnels au silicium.



© filmphotovoltaïque.com

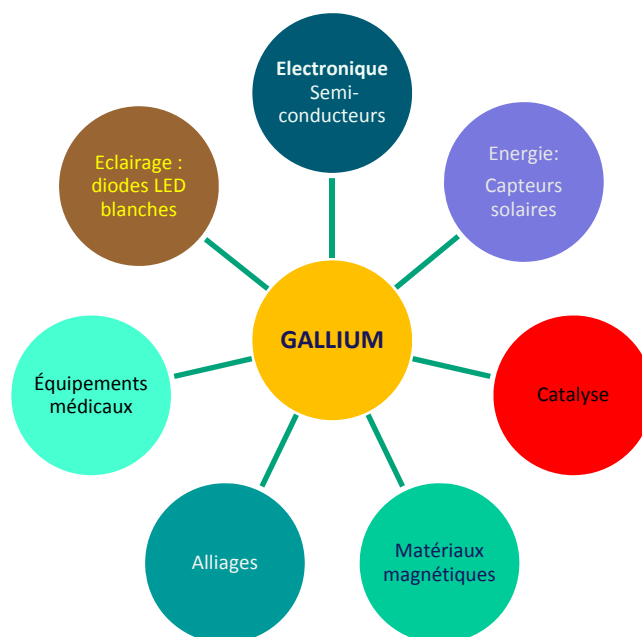
Élément d'alliages : Ga est utilisé dans les alliages à bas point de fusion pour fusibles et dans les plombages pour la dentisterie.

Autres usages : le gallium est utilisé dans les piles à hydrogène, la thermométrie hautes températures, la catalyse, etc.

Substitution : Pour le photovoltaïque en couches minces, le CIGS, utilisateur de gallium, est en concurrence avec le tellure de cadmium (CdTe). Pour ses usages comme semi-conducteur (GaAs etc.), compte tenu de ses propriétés et de ses usages très spécifiques, le gallium est difficilement substituable.

> Consommation mondiale

La consommation mondiale de gallium a été de l'ordre de 160 t en 2010, soit environ 50% de plus qu'en 2006. Cette estimation est faite d'après les besoins des utilisateurs, répartis à 95% dans les domaines de l'électronique haute-performance, dont la production photovoltaïque et l'éclairage DEL, 5% seulement étant destiné aux applications non-électroniques (alliages, catalyse, thermométrie, équipements médicaux et matériaux magnétiques..).



L'électronique, l'énergie photovoltaïque et l'éclairage LED représentent 95% de la consommation mondiale de gallium

Il n'existe pas de statistiques sur la consommation par pays, répartie essentiellement entre les USA, la Chine, le Japon, l'Europe et divers pays asiatiques (Taiwan, Corée du Sud...). La consommation mondiale devrait augmenter fortement durant d'ici à 2030, notamment par la demande accrue dans l'éclairage utilisant les diodes LED, dans les circuits intégrés haute performance et dans le photovoltaïque CIGS.

Recyclage : Il n'y a pas actuellement de recyclage de gallium à partir des produits manufacturés arrivés en fin de vie. Les panneaux photovoltaïques CIGS, qui devraient pouvoir être recyclés, n'arriveront en fin de vie qu'au-delà de 2030. En revanche, les chutes et rebuts de production du gallium (brut ou raffiné) et des galettes de GaAs ou GaN, sont recyclés (recyclage primaire) et contribuent notablement à la production de gallium (1/3 de celle-ci environ aux Etats-Unis, selon l'USGS*).

Risques sanitaires et réglementation : la toxicité du gallium, ne paraissant pas présenter de problème pour la santé aux doses habituellement présentes dans l'environnement ou l'alimentation, n'a pas fait l'objet d'études poussées. Ga pur ne semble pas toxique au contact, bien que pouvant être corrosif pour la peau et les muqueuses. Il y a peu d'informations sur ses effets lors d'expositions professionnelles, mais certains composés de gallium pourraient être toxiques, notamment l'arséniure de gallium (GaAs) lors de sa fabrication ou de sa mise en œuvre. L'exposition aiguë au chlorure de gallium peut causer une irritation de la gorge, et ses vapeurs des difficultés respiratoires.

* US Geological Survey

> Ressources et production

Le gallium, bien qu'ayant une teneur double de celle du plomb dans l'écorce terrestre, ne forme pas de concentrations exploitables, et les minéraux gallifères comme la gallite (CuGaS_2) sont exceptionnels.

En revanche, le gallium est présent dans d'autres produits, minéraux ou d'origine organique, dont il peut être extrait :

- des **gisements de bauxite** : avec une teneur de 30-80 g/t Ga dans l'hydroxyde d'alumine,
- de la plombo-jarosite, avec des teneurs de 1100-3500 g/t Ga, dans le **gisement d'Apex Mine** aux USA (seule mine ayant produit spécifiquement du gallium à partir d'un minerai de cuivre),
- de minéraux silicatés (néphéline, spodumène, lépidolite) et du sulfure de Zn (sphalérite),
- de certains **gisements de charbon et de phosphate**, dans lesquels Ga est associé à la matière organique.

Les pays producteurs miniers de bauxite, nombreux à travers le monde, sont également ceux où se retrouvent les plus grandes ressources actuellement disponibles en gallium, estimées à plus de 10 000 t au total. Cependant, c'est dans les phosphates et les dans les charbons que les ressources en Ga sont les plus importantes (plusieurs Mt). Les concentrations atteignent 100 à 1000 g/t dans les fumées et les cendres issues du traitement des phosphates et de la combustion des charbons, qui ne sont pas récupérés actuellement.

La capacité de production est donc potentiellement importante dans des pays comme l'Australie, la Chine, le Kazakhstan, le Brésil, l'Inde et la Russie. La France, qui ne produit plus de bauxite, ni de gallium à partir de l'alumine, a des ressources en bauxite modestes, et un potentiel en Ga non évalué mais a priori peu important.

Aussi l'offre mondiale de gallium, primaire et secondaire (issu du recyclage) est équilibrée, d'autant plus qu'elle peut provenir de pays sans ressources en bauxite mais qui possèdent des raffineries d'alumine (Japon, Allemagne, Ukraine..). La Chine représente cependant une part croissante de la production de Ga, plus de 40% de l'offre primaire, suivie du Japon, de l'Australie, du Kazakhstan, de la Russie.

L'USGS estime l'offre totale à 161 t en 2010, dont 106 t de gallium primaire et 55 t de gallium recyclé.

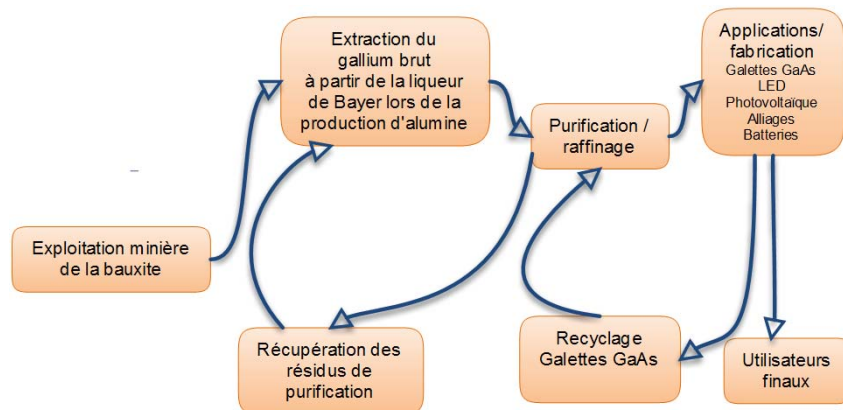
> Traitement des minerais ou des cendres contenant du gallium

Le traitement des minerais de bauxite par le procédé Bayer (attaque à la soude caustique puis calcination de la solution alcaline pour produire l'alumine) représente 95% de la production de gallium. Dans la solution alcaline (liqueur de Bayer) enrichie en gallium, l'extraction de celui-ci est réalisée :

- par solvant, procédé le plus économique,
- par électrolyse avec une cathode au mercure, la solution de gallate de sodium formée étant ensuite électrolysée avec une cathode en acier inoxydable pour produire le gallium métallique.

Dans la production du zinc à partir de minerai sulfuré, on récupère le gallium dans un précipité obtenu lors d'une étape de purification des solutions de sulfate de zinc primaires, avant leur électrolyse.

Dans les cendres de charbon, ou dans les cendres volantes des usines de gaz, on peut récupérer du gallium par attaque acide, suivie d'une extraction par l'éther utilisé comme solvant.



> Métallurgie

La récupération du gallium à partir des liqueurs du procédé Bayer permet d'obtenir un métal dont la pureté ne dépasse pas le stade 4N (99,99%). Pour la plupart des applications avancées, cette pureté doit atteindre un degré de 7N (99,99999%) en optoélectronique, ou même 9N (99,9999999%) en électronique.

On peut purifier le gallium mis à l'état liquide par filtration sous vide. Plusieurs séquences de rinçage à l'acide chlorhydrique permettent l'élimination des impuretés métalliques pour la production de gallium 4N. Les degrés de pureté supérieurs peuvent être obtenus par raffinage électrolytique en milieu alcalin. Les puretés 6N et 7N peuvent être obtenues par cristallisation fractionnée de gallium liquide ou par raffinage et électrolyse de trichlorure de gallium.

Le raffinage du gallium est réalisé par des sociétés chinoises, japonaises, britanniques, américaines et allemandes, tandis que la production de GaAs pour l'industrie électronique et informatique est dominée par le Japon.

> Acteurs industriels

Les producteurs mondiaux de gallium sont nombreux (Allemagne, USA, Japon, Russie, Kazakhstan, Ukraine, Grande-Bretagne, Hongrie, Norvège et Slovaquie) avec maintenant une suprématie de la Chine (8 producteurs ayant une capacité de production de plus de 100 t/an).

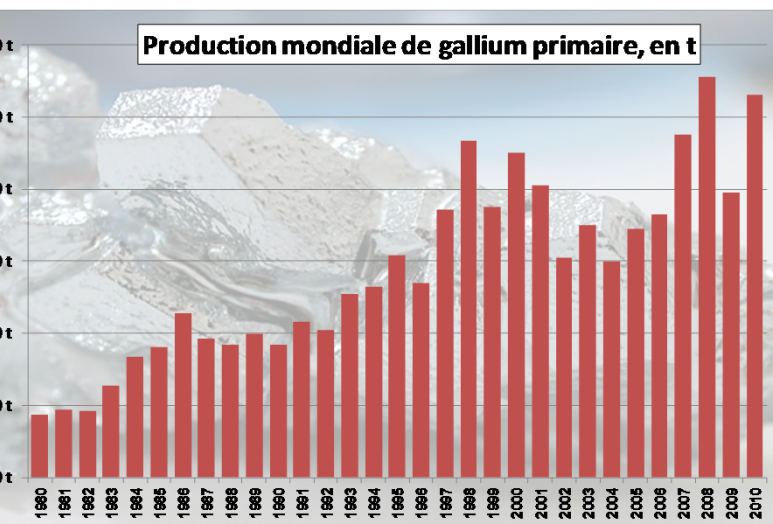
En France, il n'y a plus de production de gallium brut ou purifié (depuis l'arrêt de Metaleurop à Noyelles-Godault dans le Nord et de GEO Gallium à Salindres dans le Gard), ni de GaAs ou de GaN.

L'approvisionnement, essentiellement en GaAs, se fait auprès de Azéris Arnaud (filiale du groupe européen Azéris résultant de la fusion en 2001 d'Arnaud - France et de Novochem - Italie), ainsi que de MCP Group, producteur et raffineur de métaux rares en Belgique.

Parmi les utilisateurs industriels français on peut citer :

- pour l'électronique, Thales et ses nombreuses filiales,
- pour les équipementiers de fibres optiques et la fabrication des lasers semi-conducteurs et des lasers miniaturisés, Alcatel-Lucent,
- pour la chimie, Rhodia.

Les composés de gallium font toujours l'objet de recherche et développement, par exemple, en France, au CEA-LETI (composants électroniques), ou chez Soitec et sa filiale Picogiga.



Évolution de la production mondiale de gallium primaire entre 1980 et 2010 (Source : USGS)

> Prix

Il n'existe pas de cotation publique de prix du gallium. Les prix moyens des transactions sont publiés par certains organismes (Metal Bulletin, Mining Journal...).

Depuis 2002 ceux-ci ont oscillé entre 200 et 1000 \$/kg, avec un minimum fin 2002 et en 2009, des pics en 2007 et en 2011, avec des baisses fin 2008 et fin 2011 liées à la conjoncture économique globale.

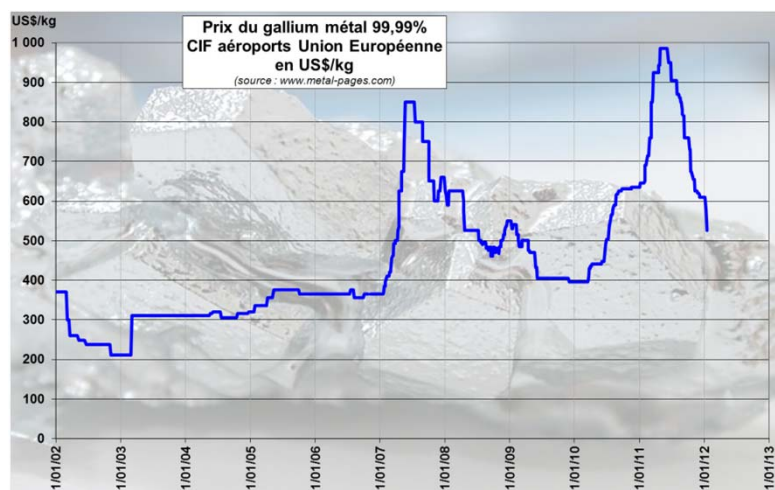
> Criticité

Au niveau mondial, le bilan offre-demande en gallium est globalement équilibré, mais il peut y avoir des crises lorsque la demande est soudaine et forte, comme pour les téléphones portables à la fin des années 90. Il faut alors un certain délai pour que la production réponde à cette demande.

Concernant la France, le gallium est utilisé dans de nombreux secteurs stratégiques de l'industrie, en électronique, photovoltaïque CIGS, stockage d'énergie, téléphonie mobile (puces GaAs, dont la croissance annuelle actuelle est de l'ordre de 15 %).

Le gallium est donc incontournable dans l'industrie pour au moins 20 à 30 ans, d'autant plus que son utilisation est appelée à se développer fortement, notamment pour les technologies au nitrure de gallium (GaN).

Bien que l'abondance et la répartition de la ressource ne posent pas, à long terme, de problèmes majeurs d'approvisionnements, l'importance stratégique du gallium pour les industries françaises est évaluée à forte/très forte, et ce d'autant plus que le centre de gravité du marché et des approvisionnements se déplace progressivement vers la Chine et que les équilibres pourraient en être modifiés.



Évolution du prix du gallium depuis 2002

