

DIAMANTS : METHODES AVANCEES

ABSTRACT

Le diamant est la pierre la plus utilisée dans la joaillerie et la bijouterie, domaines dans lesquels je travaille. Depuis quelques années, les diamants synthétiques créés en laboratoire inquiètent l'industrie. Une connaissance des diamants est donc de plus en plus nécessaire dans notre milieu afin de rassurer nos clients sur leur origine et leurs caractéristiques.

Ce projet présente une approche de reconnaissance et d'identification des diamants incolores et de couleurs grâce à deux méthodes : 1) grâce à des méthodes simples telles que l'observation au microscope, sous polariseurs croisés et UV, par des testeurs, ou par leur signature spectroscopique, etc ; ainsi que 2) grâce à une confirmation à l'aide de méthodes avancés (FTIR, PL, Diamond View, etc).



Les variétés de diamants et leurs couleurs (image extraite de Breeding and Shigley, 2009)

1. INTRODUCTION ET SYSTEME DE CLASSIFICATION DES DIAMANTS

Le système de classification par type de diamants est le système le plus utilisé. Cette méthode de classification a l'avantage de cataloguer les diamants suivant leur chimie et leurs propriétés physiques. Comprendre ce système est important pour juger la relation entre la croissance des diamants, leur couleur et leur réponse aux appareils de laboratoire.

Les diamants purs ne sont composés que d'un seul élément : le carbone. Les atomes sont organisés suivant un motif régulier (*diamond lattice*). Cependant, quelques éléments comme l'azote (N) et le bore (B) peuvent remplacer certains atomes de carbone dans la structure atomique et former ainsi des impuretés. Le système de classification des diamants se base sur la présence ou l'absence d'azote, l'impureté la plus commune dans le diamant.

Les diamants de type I sont définis comme contenant assez d'azote pour être mesurés par la spectrométrie d'absorption infrarouge ; tandis que les diamants de type II ne contiennent pas assez d'azote pour altérer les propriétés physiques du diamant et être détectés. Le type I est lui même divisé en deux parties - le type Ia et le type Ib - en fonction de l'arrangement de l'atome d'azote dans le schéma atomique.

Dans les diamants de type Ib les atomes d'azote remplacent les atomes de carbone de façon isolée. Les électrons en surplus dans les liaisons sont à l'origine de l'absorption de la couleur bleue provoquant une couleur jaune prononcée. Au contraire, les diamants de type Ia contiennent des atomes d'azote qui s'assemblent en groupe de trois ou quatre atomes. La plupart des diamants naturels sont de type Ia. La majorité des diamants de type Ia comporte des agrégats de trois atomes d'azote autour d'un site vacant, qui crée un centre coloré absorbant l'énergie dans l'extrémité bleue du spectre donnant une nuance jaune. Cette impureté est à l'origine de la fluorescence bleue.

Les diamants de types II sont également eux-mêmes divisés en deux catégories : le type IIa et le type IIb. Les diamants de type IIa ne contiennent pas de quantité mesurable d'azote ou de bore. Ce sont des diamants dits purs qui ne présentent pas d'autres impuretés ou de défauts de structure. Les diamants IIb naturels contiennent des impuretés de bore mesurables. Les atomes isolés de bore remplacent les atomes de carbone dans la structure. Les propriétés caractéristiques des diamants de type IIb, comme la conductivité électrique, sont le résultat direct de cette impureté de bore.

Les diamants synthétiques HPHT (Haute pression - Haute température) sont créés par des pressions extrêmement élevées de l'ordre de 70Kb et de très hautes températures de l'ordre de 1800°C. Le carbone sous forme de poudre avec un fondant métallique est placé dans une capsule soumise à des températures et une pression extrêmes (technique de la ceinture de Hall). Ces diamants sont toujours de type Ib.

Les diamants synthétiques CVD (*chemical vapor deposition*) sont fabriqués à basse pression et haute température. La méthode de fabrication implique la formation d'un diamant à partir d'un gaz dans une chambre vide.

2. METHODES SIMPLES ET METHODES AVANCEES

Nous allons compiler des observations faites sur des échantillons disponibles au laboratoire de gemmologie de Marseille avec des données et des conclusions issues de divers travaux sur les diamants incolores et de couleurs sous forme de tableau.

Les méthodes simples

Nous commençons par l'observation des diamants à la loupe 10X ainsi qu'au microscope. On y observe les inclusions et parfois les marqueurs d'une structure interne. On peut évaluer la pureté des diamants.

Observations avec le polariscope avec les filtres polariseurs croisés. On y observe des extinctions anormales de plus ou moins forte intensité, voire l'absence d'extinction anormale.

Observations sous UV. Les diamants sont posés sous une lampe à UV dans une chambre d'observation. Nous utilisons des UVL avec des ondes longues de longueur 365nm et des UVC avec des ondes courtes de longueur 254nm. La lumière ultraviolette peut produire une fluorescence, ce qui est susceptible de favoriser leur identification ou leur détection.

Effet du magnétisme. Nous utilisons un aimant puissant à proximité du diamant et nous notons son effet.

Utilisation des testeurs électriques, thermiques et autres testeurs. Les testeurs électrique et thermique sont des instruments qui servent à indiquer si une gemme est conductrice électriquement et thermiquement.

Nous avons également un appareil « séparateur » de diamants synthétiques Gemlogis Taupe qui indique si un diamant est naturel ou s'il y a un doute sur sa nature (Type II naturel ou synthétique).

Les méthodes avancées

Utilisation du Diamond Shure. Le Diamond Shure est un appareil onéreux qui détecte le centre N3 de la série Cape.

Utilisation du Diamond View (IIDGR). Il s'agit d'un appareil de De Beers qui prend l'image d'un diamant sous une lumière ultraviolette de longueur d'onde très courte (environ 225nm). On observe la couleur de la fluorescence et de la phosphorescence, et l'appareil peut également révéler la structure interne du diamant, c'est-à-dire ses marqueurs et ses conditions de croissance.

Spectrométrie d'absorption et plus largement la Spectromètre UV - VIS - NIR. Cette méthode permet d'analyser l'interaction entre la matière avec une radiation électromagnétique dans les longueurs d'ondes ultraviolettes, du visible et dans le proche infrarouge. La présence de pic à 415nm (défaut N3) et des lignes à 435, 452, 465 et 478nm prouve que le diamant est de type Ia. On peut également y distinguer les

diamants dont la couleur est naturelle de ceux dont la couleur est le résultat d'un traitement HPHT, par exemple, des traitements HPHT effectués sur des diamants bruns devenus jaunes par la présence de défaut H3 et une bande à 550nm (Breeding & Shigley, 2009 ; Fridrichova et al., 2015).

La spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier. La IRTF ou FTIR est une technique non destructive. La radiation infrarouge passe à travers le matériel produisant une vibration du réseau cristallin. L'énergie absorbée et transmise est mesurée et transformée sur un spectre. Les interactions entre les atomes d'azote, les impuretés de bore et les atomes de carbones provoquent des signatures spécifiques dans la zone infrarouge du spectre et renseignent aussi sur la quantité de ces impuretés (Breeding and Shigley, 2009). L'azote est l'impureté la plus importante. Son absence ou sa présence est la base du système de classification des diamants, chaque type produisant un graphique différent. Les diamants de type I contiennent suffisamment d'azote pour être détectables par la spectroscopie infrarouge. La spectroscopie d'absorption IR est très utile pour séparer le type proche incolore IIA (dont les synthétiques CVD et HPHT) du type IA qui représente la grande majorité des diamants naturels (Eaton-Magnana and Shigley, 2016).

La spectroscopie Photoluminescence. Il s'agit d'une technique analytique sensible qui détecte les émissions de lumière des défauts optiques de manière plus précise que la spectroscopie d'absorption. Les défauts du diamant sont activés par des lumières laser incidentes de longueurs d'ondes spécifiques sous des températures spécifiques. Les pics liés aux différentes combinaisons d'impureté d'azote avec les sites vacants dans la structure (tels que les centres N3, H2, H3, H4 et NV) sont observables grâce à la spectroscopie PL. Sont observables également quelques défauts optiques comme le double SiV⁻ (pics à 736 et 736,9 nm qui indiquent la présence d'impuretés de Silicium, très rares dans le diamant naturel mais fréquentes dans les diamants synthétiques CVD (Breeding et al., 2008 ; Eaton Magnana and Breeding, 2016). Les traitements HPHT peuvent être repérés grâce à cette technique : par exemple, des diamants traités HPHT ont un pic à 637nm (NV⁻) plus fort que celui à 575nm (NV⁰). Ce rapport est inversé pour les diamants naturels de type II (Eaton Magnana and Breeding, 2016).

3. RESULTATS ET DISCUSSION

Nous avons essayé de compiler les données de plusieurs articles sous forme de tableau en se concentrant sur les diamants incolores et roses (cf. Tableau joint).

Nous notons que le polariscope est très important car il donne des indices sur l'origine des diamants naturels, synthétiques ou traités, notamment pour les diamants roses. Pour les diamants incolores, l'absence de réaction au polariscope donne une indication forte de la croissance HPHT. Les diamants naturels sont sujets à divers stress durant leur croissance et leur transport. Au contraire, les diamants synthétiques HPHT se sont développés dans un champ haute pression uniforme. La présence de marqueurs sous le polariscope n'élimine pas l'origine synthétique. En effet, les diamants CVD montrent des « strain » (Ardon and Batin, 2017). Pour les diamants roses, l'extinction anormale est particulièrement intense et colorée dans les diamants naturels Argyle voir en « tatami » pour les diamants non-argyle (cf. Tableau). Elle est totalement absente pour les diamants synthétiques HPHT preuve de l'origine synthétique. Les diamants synthétiques CVD présentent, quant à eux, un motif en colonne sous les polariseurs croisés (preuve de son origine synthétique) mais aussi un motif en « tatami » proche des roses naturels IIa (Deljanin et al., 2015).

La réaction aux UV donne également des forts indicateurs sur l'origine des diamants. Des couleurs atypiques ou l'intensité des réactions aux UVC comparés aux UVL sont des indices de l'origine synthétique des diamants, HPHT ou CVD. Par exemple, les diamants synthétiques HPHT ne montrent pas de fluorescence aux UVC, ce qui n'est pas le cas des diamants naturels (Eaton Magnana et al., 2017). Pour les diamants roses, la fluorescence des diamants naturels est faible alors qu'elle est forte et rouge pour les diamants synthétiques HPHT, et orange-rose et rouge-rose respectivement aux UVL et aux UVC pour les diamants CVD (Deljanin et al., 2015).

Le test du magnétisme montre la présence d'inclusions métalliques qui est habituellement une preuve de la croissance HPHT car elle nécessite une fusion de métal dans son processus. L'absence de ces inclusions ou l'absence de réponse magnétique n'exclue pas l'origine HPHT (diamant dont la pureté est supérieure à Si).

L'observation à la loupe et au microscope de la présence de zone de couleurs et d'onde de croissance peuvent être utiles : ainsi, des zones de couleur dans le jaune peuvent suggérer une origine HPHT.

Nous n'avons pas abordé les diamants bleus mais les conducteurs électroniques sont utiles pour détecter la présence de Bore, élément responsable de leur propriété conductrice.

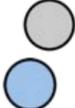
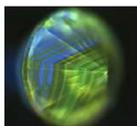
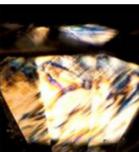
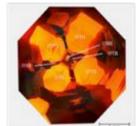
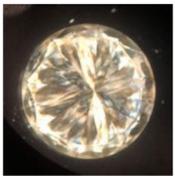
La spectroscopie UV-VIS-NIR permet de séparer les diamants traités des diamants naturels. Par exemple, les spectres des diamants roses traités présentent des centres N-V (637nm) et H2 (986 nm) développés lors d'un traitement HPHT associé à une radiation et un *annealing* (Deljamine et al., 2008).

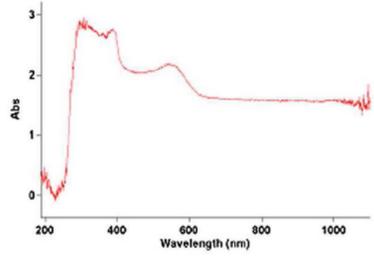
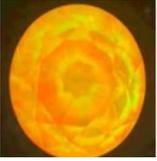
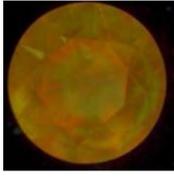
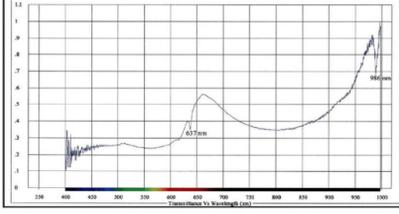
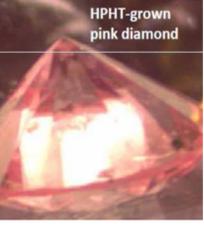
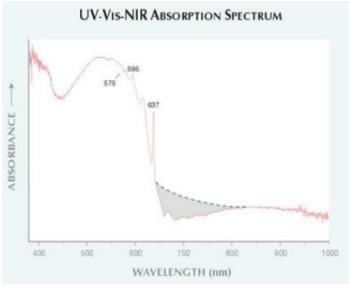
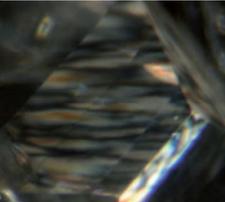
Les méthodes avancées, comme la méthode FTIR, donnent des renseignements sur le type de diamant. La FTIR permet de faire un tri avant d'envoyer les diamants pour

analyse dans un laboratoire. En effet, les diamants qui ne montrent pas d'azote dans le spectre d'absorption FTIR, c'est-à-dire les diamants de type II, doivent toujours être envoyés dans des laboratoires gemmologiques pour subir des tests, car ils peuvent être sujets à un traitement HPHT ou peuvent être des diamants synthétiques CVD ou HPHT. Cette technique a l'avantage d'être non destructive et relativement peu onéreuse.

Au Diamond View, les diamants incolores sont bleus alors que les diamants synthétiques incolores CVD montrent une grande variété de couleurs avec une forte proportion de violet-rose ou d'orange. Les diamants CVD traités HPHT montrent quant à eux une couleur bleu-verdâtre. Les diamants synthétiques HPHT montrent une structure cubo-octaédrique et une couleur bleue. Les diamants roses synthétiques HPHT sont de couleur rouge au Diamond View (Eaton et al., 2017).

Le spectromètre PL, combinée à Diamond View et à la phosphorescence, permet de caractériser de manière définitive l'origine naturelle du diamant (notamment pour les diamants de type II), les traitements effectués sur des diamants bruns afin de la rendre incolore, et, également les origines synthétiques HPHT et CVD (en plus, des données des spectres d'absorption et du FTIR). Ces techniques sont cependant très onéreuses, supposent une maintenance et nécessitent un grand nombre d'échantillons de nature différentes (couleurs différentes, origines naturelles, synthétiques ou traités) avec des défauts différents (révélés par des longueurs d'onde différentes pour la spectrométrie PL) afin de créer une base de données importante (Breeding et al., 2010 ; Lim et al., 2010).

	Observation pureté	Polariscope (polariseurs croisés)	UVL	UVC	Magnétisme	Conducteurs Testeurs électrique thermique	Diamond Sure détecte le centre N3 de la serie Cape	Diamond View	Spectromètre UV visible proche IR	FTIR	PL
Incolore Ia			 fluorescence bleu dû au défaut optique N3		Non magnétique	Non conducteur	Absorption 415nm N2 ou N3		Raie d'absorption marquée à 415nm (N3) bandes entre 415 et (N2) 478nm	Aggregated N (1282, 1175 cm ⁻¹)	
Incolore IIa					Non magnétique	Non conducteur	On observe une émission bleue 		Spectrométrie Vis-NIR les absorptions dans le visible/ proche infrarouge des Dts HPHT ressemblent à leurs équivalents naturels -> besoin de multiplier les techniques de spectroscopiques et observations gemmologiques pour confirmer.		PL : les traits PL comme h3, pics à 648.2 et 776.4nm qui sont détectés dans les dits type IIb. Ces pics ne sont pas observés dans les diamants IIb HPHT (eaton magnana and ardon,2016) Spectroscopie Photoluminescence (PL) est une technique analytique sensible qui détecte les émissions de lumière des défauts optique à des concentrations inférieures que la spectroscopie d'absorption. Les traits spectraux (spectral features) sont excités par une lumière laser incidente de longueurs d'ondes spécifiques est donc capable de détecter le centres optiques dans les diamants quand l'absorption vis-NIR et IR ne peuvent pas. La spectroscopie PL est une technique importante dans un laboratoire géologique pour déterminer l'origine du diamant, l'origine de la couleur et donc utilisé pour les diamants HPHT. Les traits spectraux sont azotes et les défauts liés au nickel.
Incolore synthétique HPHT	Inclusions opaques métalliques et des imperfections de croissances		Dans les HPHT incolore pas de fluorescence dans les UVL détecté.	montre une fluorescence plus forte aux UVC	Magnétisme	Non conducteur			UV-VIS – 415nm, 452 nm, 465 nm, 478 nm. Présence de 415 nm prouve que le diamant est naturel. Diamant synthétique est de type Ib ou IIa. Nickel en fondant peut donner absorption en 470 et 700nm		
Incolore synthétique CVD	HSi2 certifié IGI pinpoint occasionnel		 fluorescence orange	 fluorescence (orange) plus forte (défaut centre NV 575nm), qui est très rare dans les diamants naturels. Depuis 2010 fluorescence jaune (défaut centre NV) et verte (défaut H3) (Dobrinets et al.,2013)	Non magnétique	Non conducteur		Violette avec des taches bleues	Absorption à 220nm et 240nm (typique pour les diamants type II) Absorption à 270nm – atomes isolés de N	Pas d'absorption dans la région d'azote – type II. Absorption en 1344 cm ⁻¹ . Caused par les atomes isolés de N – type Ib. Proche infrarouge en 7354 cm ⁻¹ 8753, 6856, 6425 and 5564cm ⁻¹ causé par l'impureté de hydrogène	photoluminescence pour confirmer cvd La spectroscopie photoluminescente à la température basse en utilisant 4 différents laser comme excitation montre la signature classique de CVD: Un pic de doublet 736.6/736.9 nm - lacune de Si, Si-V défaut et un pic à 596/597 nm. Quand le pic de doublet 596/597 nm est évident et unique pour le CVD, le pic Si-V a été observé également dans les diamants naturels; D'autres absorptions ont été observées, comme 3H (503,5 nm) décrites par Wang et al.

	Observation Pureté	Polariscope (polariseurs croisés)	UVL	UVC	Diamond View	Spectromètre UV visible proche IR	FTIR	PL
rose naturel			pas de reaction aux UVL si oui fluorescence plutôt bleu (king et al., 2002) 	31% pas de reaction aux UVC 		Centre NV et bandes à 550nm (collins, 1982) aborption plus marqués dans les ondes plus courtes ex 503,494 et 415nm 		
rose traité								généralité : les rose C sont souvent traité irradiation + annealing (Eaton magnana ans Shigley, 2016) Depuis 2013 la fluorescence tend à disparaître en propor (Eaton Magnana and Shigley, 2016)
rose HPHT	les HPHT roses doivent leur couleur à un traitement post croissance par irradiation et annealing à faible température. Cette procédure crée des centre optique NV (nitrogen vacancy) (idem origine cvd et naturels golconda)		Montre une fluorescence fluorescence modéré à forte, plus forte aux UVC qu'aux UVL 	Montre une fluorescence fluorescence modéré à forte, plus forte aux UVC qu'aux UVL 		Spectrométrie Vis-NIR les absorptions dans le visible/ proche infrarouge des Dts HPHT ressemblent à leurs équivalents naturels -> besoin de multiplier les techniques de spectroscopiques et observations gemmologiques pour confirmer. Le spectre Vis Nir des rose à rouge montre l'historique de traitement irradiation et annealing qui a créé la couleur rose que l'origine HPHT 	IR pour les diamants synthétiques HPHT jaunes à vert et roses traités, le spectre d'absorption IR montre un pic à 1344cm-1. Cela indique la présence d'azote single substitutional (c'est-à-dire diamants type Ib) et montre que le diamant est jeune géologiquement parlant. Ce pic est un bon indicateur d'une potentielle origine HPHT. (eaton magnana et al. , 2017)roses traités : également de type IIa	PL : généralement les HPHT, qui ont un concentration inférieure nitrogène (Azote) que jaunes synthétiques, subissent un traitement colorant post croissance qui augmente la concentration de ces défauts lié à l'azote.
rose synthétique CVD		 polariseurs croisés + grossissement : faible à forte interférence de couleurs rouge, bleu, vert et même blanc, avec des motif irréguliers, linéaires ou occasionnellement cross hatched tatamis (trad : tatami hachuré). De fortes interférences avec des motifs symétriques caractéristiques autour des petites inclusions noires.	Fluorescence orange modéré à forte UVC et UVL ; Turbidité (« chalkiness ») observé	Fluorescence orange modéré à forte UVC et UVL ; Turbidité (« chalkiness ») observé	DTC Diamond view : fluorescence orange à rouge orangé (souvent en bandes d'orange weaker (faible)) ; Narrow growth striations (trad : stries de croissance étroites) observés typique des CVDGraining sans limites indistinctes.	NV centers > absorption des longueurs d'ondes plus part du jaune, vert et orange > 2 fenêtres dans le visible 637nm et plus composante rose à rouge et environ 450 nm pour la composante bleu.	Spectroscopie d'absorption infrarouge : azote isolé, défaut H-related, H1a et probablement N+	Photoluminescence Spectroscopie Rama related feature est l des principales caractéristiques p identifier les croissa CVD

4. CONCLUSION

La technique FTIR est utilisée en laboratoire pour classifier les diamants. Elle a l'avantage d'être non destructive en comparaison à d'autres méthodes. La spectroscopie Photoluminescente est une technique importante dans un laboratoire gemmologique pour séparer les diamants traités et synthétiques des diamants naturels. Tous les types II incolores ou proche incolores requièrent une analyse pour confirmer de manière définitive si le diamant est naturel, traité ou synthétique. Ces techniques sont utilisées en combinaison avec l'imagerie Diamond View.

Cependant les méthodes simples peuvent nous donner des indices : le polariscope et la chambre à UV sont très importants pour trier certains diamants naturels et synthétiques. La couleur d'un certain diamant donne également une indication sur leur possible nature synthétique.

Si nous arrivons à déterminer si un diamant incolore est de type Ia, il n'est pas utile d'envoyer ce diamant dans un laboratoire (Breeding and Shigley, 2009) : cette méthode de simple accès permet une première sélection et identification.

5. FUTUR POTENTIEL

La production de diamants synthétiques HPHT et CVD augmente dans les mêlées (grâce à l'amélioration des processus de croissance pour produire en quantité) et pour les diamants de grandes tailles supérieures à 4ct (grâce au maintien de la croissance pendant de longues périodes). La pureté est améliorée, les zones de couleurs dans les diamants fancy sont moins visibles : en définitive, les diamants synthétiques moins distinguables des naturels. De plus, le prix des diamants synthétiques a baissé au cours de ces dernières années (Rubel Menasche).

Il est crucial pour l'industrie des diamants naturels de mettre en place des outils de détection simple. Il est nécessaire de rassurer l'industrie, la commercialisation et clientèle.

BIBLIOGRAPHIE

Breeding C.M. and Shigley J.E (2009) The "Type" Classification System of Diamonds and Its Importance in Gemology. *Gems & Gemology*, Summer 2009, Vol. 45, No. 2

Collins A.T. (1982) Colour centres in diamond. *Journal of Gemmology*, Vol. 18, No. 1, pp. 37–75.

Deljanin B., Peretti A., Alessandri M. (2015) The world of pink diamonds and identifying them. In *color*, pp 32-41.

Deljanin B., Simic D., Zaitsev A., Chapman J., Dobrinets I., Widemann A., Del Re N., Middleton T., Deljanin E., de Stefano A., (2017) Characterization of pink diamonds of different origin: Natural (Argyle, non-Argyle), irradiated and annealed, treated with multi-process, coated and synthetic. *Diamond and Related Materials*, vol. 17, issue 7-10, pp. 1169-1178

Dobrinets I.A., Vins V.G., Zaitsev A.M. (2013) *HPHT-Treated Diamonds: Diamonds Forever*. Springer, Heidelberg, Germany.

Eaton-Magaña S., Lu R. (2011) Phosphorescence in type IIb diamonds. *Diamond and Related Materials*, Vol. 20, No. 7, pp. 983–989,
<http://dx.doi.org/10.1016/j.diamond.2011.05.007>

Eaton-Magaña S., Shigley J. (2016) Observations on CVD-grown synthetic diamonds: A review. *G&G*, Vol. 52, No. 3, pp. 222–245, <http://dx.doi.org/10.5741/GEMS.52.3.222>

Eaton-Magaña S., Shigley J.E., and Breeding C.M. (2017) Observations on HPHT-Grown Synthetic Diamonds: A Review. *Gems & Gemology*, Fall 2017, Vol. 53, No. 3,
<http://dx.doi.org/10.5741/GEMS.53.3.262>

Fisher D., Sibley S.J., Kelly C.J. (2009) Brown colour in natural diamond and interaction between the brown related and other colour-inducing defects. *Journal of Physics: Condensed Matter*, Vol. 21, No. 36, Article 364213, 10 pp.,
<http://dx.doi.org/10.1088/0953-8984/21/36/364213>

Fridrichová J., Bačík P., Škoda R. & Antal P. (2015) Use of spectroscopic methods for determination of diamond origin and treatment. *Acta Geologica Slovaca*, 7(1), 2015, 11–18

Hall M., Moses T. (2000) Gem Trade Lab Notes: Diamond—blue and pink HPHT annealed. *Gems & Gemology*, Vol. 36, No. 3, pp. 254–255.

Johnson P., Myagkaya E. (2017) Lab Notes: HPHT synthetic diamond with intense green color. *G&G*, Vol. 53, No. 1, pp. 96–98.

King J.M., Shigley J.E., Guhim S.S., Gelb T.H., Hall M. (2002) Characterisation and grading of natural –color pink diamonds. *G&G*, Vol. 38, No. 2, pp 128-147.

King J.M., Shigley J.E., Gelb T.H., Guhim S.S., Hall M., Wang W. (2002) Characterisation and grading of natural –color yellow diamonds. *G&G*, Vol. 41, No. 2, pp 88-115.

Shigley J.E., Abbaschian R., Clarke C. (2002) Gemesis laboratory-created diamonds. *G&G*, Vol. 38, No. 4, pp. 301–309, <http://dx.doi.org/10.5741/GEMS.38.4.301>

Shigley J.E., McClure S.F., Breeding C.M., Shen A.H.-T., Muhlmeister S.M. (2004) Lab-grown colored diamonds from Chatham Created Gems. *G&G*, Vol. 40, No. 2, pp. 128–145, <http://dx.doi.org/10.5741/GEMS.40.2.128>

Smith E.M., Shirey S.B., Nestola F., Bullock E.S., Wang J., Richardson S.H., Wang W. (2016) Large gem diamonds from metallic liquid in Earth's deep mantle. *Science*, Vol. 354, No. 6318, pp. 1403–1405, <http://dx.doi.org/10.1126/science.aal1303>

Welbourn C.M., Cooper M., Spear P.M. (1996) De Beers natural versus synthetic diamond verification instruments. *G&G*, Vol. 32. No. 3, pp. 156-169.

<http://www.rubel-menasche.com/fr/industrie/entreprises/les-prix-des-diamants-synthetiques-continuent-de-baisser/?fromhome>