# شناخت ساختار بلوری الماس و تأثیر آن در انتخاب روش های تراش

**مرضیه شاهوران[1]، دکتر بیژن اعتمادی[2]**

**چکیده - اتم های کربن در الماس، در ساختار کوبیکی بصورت فشرده قرار دارند. در واقع الماس از چهار وجهی های تترائدری کربن تشکیل شده است و ساختار کریستالی با شبکه براوه (Face Centered Cubic) FCC را تشکیل می دهد. این ساختار بلوری ویژگی های فیزیکی و شیمیایی غیر معمول الماس را ایجاد کرده است. مجموعه ویژگی های منحصر به فرد الماس آنرا به گوهری جذاب و کمیاب تبدیل کرده است. الماس طبیعی به صورت بلورهای مجزا، انباشته هایی از چند بلور یا مجموعه ای از بیشمار شبه بلورهای ریز دیده می شود. ریخت شناسی های مختلف (برای مثال شکل، اندازه، تعداد بلورها و ... ) شرایط رشد را نشان می دهند. علاوه بر این در الماس ریخت شناسی هندسی بلورها و آشنایی با جهت های بلوری الماس و خصوصیت های هریک از آنها می تواند در انتخاب روش های تراش مؤثر باشد. الماس های ساختگی HPHT یک شکل Cuboctahedral را نشان می دهند که ترکیبی از وجه های اکتاهدرون {111}، کوبیک {100} و دودکاهدرون {110} است. الماس های طبیعی هرگز به این شکل دیده نمی شوند. در روش CVD می توان الماس های Polycrystalline که تجمعی از بلورهای ریز هستند و الماس های تک بلوری (Single Crystal) تولید کرد.**

**الماس، تترائدر، اکتاهدرال، کوبیک، دودکاهدرال**

کلید واژه- اکتاهدرون، الماس، تترائدر، دودکاهدرون، کوبیک

# Understanding the crystal structure of diamond and its effect on the choice of cutting method

**Marzieh Shahvaran, Gemmology instructor of Asia Diamond Gowhargostaran institute**

**Dr. Bijan Etemadi Faculty member of Shiraz University**

**Carbon atoms in diamond are packed in a cubic structure. In fact, diamond is composed of carbon tetrahedron and forms a crystal structure with FCC (Face Centered Cubic) bravais lattice. This crystal structure has created the unusual physical and chemical properties of diamond. The set of unique features of diamond has turned it in to an attractive and rare gem. Natural diamond can be seen as individual crystals, accumulation of several crystals, or a collection of numerous fine pseudo-crystals. Different morphologies (for example, shape, size, number of crystals, etc.) show growth condition. In addition, in diamond, the geometrical morphology of crystals and familiarity with diamond crystal directions and the characteristics of each of them can be effective in choosing a cutting method. HPHT synthetic diamonds exhibit a Cuboctahedral shape, which is a combination of octahedron {111}, cubic {100} and dodecahedron {110} faces. Natural diamonds are never seen this way. In the CVD method, it is possible to produce polycrystalline diamonds (which are accumulation of tiny crystals) and single crystal diamonds.**

Keywords: Cubic, Diamond, Dodecahedron, octahedron, tetrahedron

1- مربی گوهرشناسی مؤسسه گوهرگستران الماس آسیا. 2- عضو هیأت علمی دانشگاه شیراز و مؤسس مؤسسه گوهرگستران الماس آسیا.

## مقدمه

الماس یکی از ارکان اصلی گنجینه های طبیعت است. کانی الماس از عنصر کربن تشکیل شده است. این عنصر پانزدهمین عنصر فراوان در پوسته زمین است و به عنوان چهارمین عنصر کیهان شناخته می شود. هنگامیکه ستارگان اولیه پر جرم و با طول عمر کوتاه، هیدروژن، هلیوم و لیتیوم خود را مصرف کرده و عناصر سنگین تر C و O را تولید می کنند و با یک انفجار می میرند، عناصر کربن و اکسیژن در سرتاسر جهان پخش می شوند. برخی شهاب سنگها حاوی الماس های میکروسکپی هستند که در زمانیکه منظومه شمسی هنوز یک دیسک گازی شکل بوده، تشکیل شده اند. در جدول شماره **1** ویژگی های فیزیکی و شیمیایی الماس ذکر شده است: [2]

| | |
|---|---|
| ترکیب شیمیایی (Composition) : | کربن (C) 99/95 % |
| سیستم تبلور (Crystal System): | کوبیک |
| گروه فضایی (Space Group): | Fd3m; a=3.560angstrom |
| شکل های متداول (Common forms): | Octahedron, Tetrahedron {111}, Cube {100} Dodecahedron {110}, Rounded Variations |
| دوقلویی (Twins): | قانون رایج اسپینل |
| سختی (Hardness): | 10 در مقیای موس |
| عدد سختی Knoop: | 56-115 (GPa) |
| رخ (Cleavage): | عالی در (111) |
| چگالی (Density): | 3/51 g/cm$^3$ |
| وزن مخصوص (Specific Gravity): | 3/51 |
| ظاهر وجلا (Appearance & Luster): | بی رنگ تا زرد یا سایر رنگها، الماسی |
| ضریب شکست (Refractive Index): | 2/ 4175 |
| پراکنش (Dispersion): | 0/044 |
| انتقال نوری (Optical transmission): | در طیف گسترده ای شفاف است. |
| هدایت حرارتی (Thermal Conductivity): | 5-25 watts per centimeter per degree Celsius (W.Cm$^{-10°C-1}$) |
| هدایت الکتریکی (Electrical Conductivity): | 0 to~100 ohms – Centimeters (Ω – Cm) (Resistivity at 300 K) |

جدول شماره 1 : ویژگی های فیزیکی و شیمیایی الماس

## شیمی کربن و ساختار بلوری الماس

الماس شکل جامدی از عنصر کربن (Carbon) است بنابراین می توان گفت درک شیمی الماس نیازمند دانش اولیه عنصر کربن است. کربن با علامت اختصاری C و عدد اتمی 6 در دسته نافلزها قرار دارد. شکل الکترونی کربن، $1S^2\ 2S^2\ 2P^2$ است. کربن در الماس به دلیل 4 ظرفیتی بودن با 4 الکترون پیوند کوالانسی تشکیل می دهد. هنگامیکه در الماس اتم کربن با 4 اتم C دیگر پیوند برقرار می کند، هیبریداسیون از نوع $SP^3$ است. کربن پلی مرف دیگری نیز دارد که با تشکیل $SP^2$ شبکه ای لایه ای ایجاد کرده و کانی گرافیت تولید می شود. الماس یک آلوتروپ متااستیبل ( Metastable Allotrope) از کربن است. به عبارتی یکی از اشکال فیزیکی کربن است که اگرچه یک حالت تعادل ظاهری دارد ولی قادر به تغییر به یک حالت پایدارتر است. الماس در سیستم بلوری کوبیک متبلور می شود که به آن Hexahedron (شش وجهی) نیز گفته می شود. در واقع الماس از چهار وجهی های تترائدری کربن تشکیل شده است و ساختار کریستالی با شبکه براوه FCC (Face Centered Cubic) را تشکیل می دهد. می توان گفت ساختار کوبیکی الماس ترکیبی از دو شبکه فرعی FCC متقابل است که در طول مورب بدنه سلول کوبیکی به اندازه ¼ طول قطر آن جابجا شده اند. بنابراین مبدأ دو شبکه فرعی FCC در (0,0,0) و (¼,¼,¼) قرار می گیرد. اتم ها در آرایش شبکه براوه (Bravais) FCC تا حد ممکن به یکدیگر نزدیک هستند. در الماس عدد کوردیناسیون اتم های کربن 4 و هر unit cell دارای 8 اتم کربن است. تعداد اتم های مشارکتی در گوشه های یک یکاياخته : ( 1= 8 × 1/8 )، تعداد اتم های مشارکتی در وجه های یک یکاياخته: ( 3 = 1/2 × 6 )، تعداد اتم های داخل ساختار در مختصات (¼,¼,¼): (4) در نتیجه: 8 =4 + 3+ 1 [3]

در الماس های طبیعی بر اساس تفاوت های ریخت شناختی و فرایندهای رشد، به سه نوع اصلی الماس می توان اشاره کرد. الف) الماس های تک بلورین، ب) الماس های الیافی، ج) الماس های چند بلورین

الف) الماس های تک بلورین ( Monocrystalline diamond): شکل ظاهری بیشتر این الماس ها به سه ریخت هندسی (Geometric form) اصلی اکتاهدرون (Octahedron) یا هشت وجهی {111} (متداول ترین شکل بلوری (Crystal Habit) الماس) ، کوبیک (Cubic) یا شش وجهی {100}و دودکاهدرون (Dodecahedron) یا دوازده وجهی {110} محدود می شود. فقط شکل هشت وجهی و کوبیک اشکال واقعی رشد الماس تک بلورین را نشان می دهند. شکل دوازده وجهی به طور معمول نتیجه بازجذب (Resorption) است. در بلورهای اکتاهدرون بازجذب می تواند تا محو کامل سطوح بلوری اکتاهدرون ادامه یابد. با از بین رفتن کامل سطوح بلوری اکتاهدرون، شکل دوازده وجهی گردشده (Rounded) ایجاد می شود. تعداد کمی از الماس های بلورین شکل مشخص کوبیکی دارند. الماس هایی که شکل بلورین مشخص و قابل تشخیص ندارند یا شکلشان به شدت ناقص است را الماس های نامنظم (irregular) می نامند. در برخی از کانسارها بیشتر الماس ها نامنظم هستند. بیشتر الماس های با وزن بالای 500 قیراط نامنظم هستند. مانند الماس کولینان. گاهی انباشته ها، همرشدیهای موازی و دوقلویی ها نیز در گروه الماس های بلورین قرار می گیرند. ب) الماس های الیافی و پوشش الیافی (Fibrous diamond): از تعدادی الیاف باریک میکروسکپی تشکیل شده اند. ریخت شناسی کلی الماس های الیافی می تواند شبیه به الماس های تک بلورین باشد. همچنین، این الماس ها می توانند بصورت رورشدی (Overgrowth) الیافی (پوشش) در اطراف سایر الماس ها تشکیل شوند. ج) الماس های چندبلورین (Polycrystalline diamond): این الماس ها شامل تعدادی شبه بلور الماس ریز تا نهان بلور است. کربونادوس (Carbonados) و یاکوتیت (Yakutite) از جمله الماس های چند بلورین هستند. یاکوتیت در کانسارهای پلاسری در یاکوتای روسیه یافت می شود. یاکوتیت دارای مقادیر فراوانی کانی لونسدالیت (Lonsdalite) است. لونسدالیت پلی مرف هگراگونال الماس است که مشخصه ترکیب شهاب سنگها و سنگ های دگرگونی برخوردی است. [5] تعیین جهت های کریستالی (Stablishing crystal direction) و آشنایی با خصوصیت های هریک از آنها می تواند در انتخاب روش های تراش مؤثر باشد. اگر شبکه اتمی بلور الماس را بطور کلی درنظر بگیریم در برخی از جهت ها اتم ها به یکدیگر نزدیک تر هستند که این مطلب منجر به تفاوت های اندکی در شبکه بلوری می گردد. 1- جهت ها و صفحه های اکتاهدرون (Octahedron): این صفحه ها به موازات وجه های شکل اکتاهدرون می باشند. فاصله اتم های کربن در این صفحه ها در کمترین حد ممکن بوده و در نتیجه جهت های اکتاهدرون در مقایسه با جهت های دیگر از سختی بیشتری برخوردار هستند. البته جهت اکتاهدرون برخلاف سختی بسیار بالا در مقایسه با دیگر جهت ها شکننده تر است زیرا سطوح رخ (Cleavage) در امتداد صفحه های اکتاهدرون قرار دارند. تراشندگان الماس با ضربه ای از جهت اکتاهدرون الماس را به دو قسمت تقسیم کرده تا قطعات حاصل را با محدودیت کمتر و بطور دلخواه تراش دهند. 2- جهت ها و صفحه های کوبیک (Cubic): شکل کوبیک در تمامی الماس ها وجود دارد. به صفحه هایی که به موازات وجه های یکا یاخته (Unit Cell) می باشند، صفحه های کوبیک گفته می شود. فاصله اتم ها در این صفحه ها اندکی بیشتر از صفحه های اکتاهدرون بوده و در نتیجه سختی جهت کوبیک اندکی کمتر از جهت اکتاهدرون می باشد. جهت کوبیک با توجه به سختی پایین تر و زاویه ای که نسب به جهت اکناهدرون دارد معمولاً برای تراش الماس مناسب است و اغلب الماس را برای حداکثر استفاده از وزن و ایجاد بزرگترین وجه رویی (Table) از این جهت تراش می دهند. 3- جهت ها و صفحه های دودکاهدرون (Dodecahedron): شکل دودکاهدرون در تمامی الماس ها قابل تصور است. صفحه هایی که در این جهت ها قرار می گیرند در مقایسه با دیگر جهت ها دارای کمترین تراکم اتمی بوده و در نتیجه پایین ترین سختی را دارند. جهت دودکاهدرون با توجه به پایین ترین سختی، جهت مناسبی برای تراشیدن ریزوجه های تاج (Crown) و خیمه (Pavilion) است. تعیین جهت های بلوری در الماس های خامی (Rough) که شکل غیر معمول دارند مقداری دشوارتر است. در اینجا باید از علائم رشد (Growth mark) برای تعیین امتدادهای بلوری استفاده کرد. Growth mark یا

اشکال نقش بسته (Etch figure) در زمان رشد منفی الماس ایجاد می شوند. این علائم در جهت اکتاهدرون بصورت مثلث های کوچک (Trigon) و هم جهت می باشند. در جهت کوبیک بصورت مربع یا مستطیل های کوچک و در جهت دودکاهدرون به شکل خطوط شیارمانند موازی هستند. [1]

## شکل های بلوری الماس های ساختگی

الماس های ساختگی HPHT (فشار بالا، دما بالا) دارای مورفولوژی متمایزی هستند. آنها یک شکل Cuboctahedral را نشان می دهند که ترکیبی از وجه های اکتاهدرال {111}، کوبیک {100} و دودکاهدرال {110} است و گاهی ریزوجه های بلوری دیگری نیز تشکیل می شود. در الماس های ساختگی گاهی اوقات وجه ها بطور نابرابر رشد می کنند که می تواند منجر به ظاهری نامتقارن و مخدوش شود. در آزمایشگاه رشد بلور الماس بر روی یک هسته کوچک از جنس الماس که بر روی سطحی صاف قرار گرفته است انجام می شود، به همین دلیل سطح زیرین بلور پهن و دیگر جهات آن بصورت هرم های ذوزنقه ای ناقص که به وجوه کوچکی منتهی شده اند می باشد.

با استفاده از روش CVD (رسوب بخار شیمیایی) می توان ورقه ای از الماس به قطر 30 سانتی متر تولید کرد که این سایز قابل افزایش است. این ورقه های الماس در واقع به شکل Polycrystalline و یا تجمعی از بلورهای ریز هستند و به همین دلیل معمولاً سیاه می باشند، اگرچه گاهی نیز کاملاً شفاف هستند. از این الماس های ساختگی می توان برای پوشش برخی از سطوح استفاده کرد و این موضوع می تواند موارد استفاده مهمی در صنایع مختلف داشته باشد. زیرا می توان از بسیاری از خصوصیت های الماس مانند سختی و ویژگی های حرارتی آن در موارد متعددی بهره برد. البته الماس های Single Crystal با روش CVD کوچکتر هستند. الماس های تک کریستالی CVD دارای سطوح جهت دار (Orientated surfaces) {100}، لبه های (Edges){110} و صفحه رخ (Cleavage Plane){111} هستند. [4] در شکل شماره 1 مورفولوژی متداول رشد بلورهای الماس طبیعی و ساختگی مقایسه شده است.

شکل 1: سمت چپ (CVD)، وسط (HPHT)، سمت است (طبیعی)

## نتیجه گیری

اگرچه امروزه بسیاری از الماسها توسط لیزر تراشیده می شوند، با اینحال تراشکاران هنوز باید درک صحیحی از جهت های سخت و آسان صیقل و همچنین جهت های رخ برای برنامه ریزی (planning) تراش داشته باشند. با توجه به ویژگی جهت های بلوری در الماس می توان گفت در وجه های کوبیک در دو جهت و جهت های موازی با آنها امکان صیقل بهینه وجود دارد. صفحه های دودکاهدرون یک جهت بهینه برای صیقل دارند و از آنجاییکه صفحه های اکتاهدرون هر سه محور بلورشناسی را قطع می کنند بنابراین صیقل دادن آنها سخت ترین حالت ممکن است. در الماس های ساختگی می توان سطوح بلوری را در محصولات مهندسی شده الماس ارائه کرد.

## مرجع‌ها


**[1]** مهدی امان الهی وفایی، ارزیابی کیفی الماس، انتشارات شرکت مهندسان مشاور ساروین، 1385.

**[2]** Harlow, E.G., 1998, Nature of Diamond, Cambridge U.K, P.9.

**[3]** Helmenstine, A.M., 2019, The chemistry and structure of diamond, Science, Tech, Math.

**[4]** Shor, R., differences between natural and laboratory-grown diamonds.,2019, GIA

**[5]** Tappert, R., Tappert, C.M., 2014, *Diamond in nature – A guide to rough diamonds*, Springer, pp. 15-45