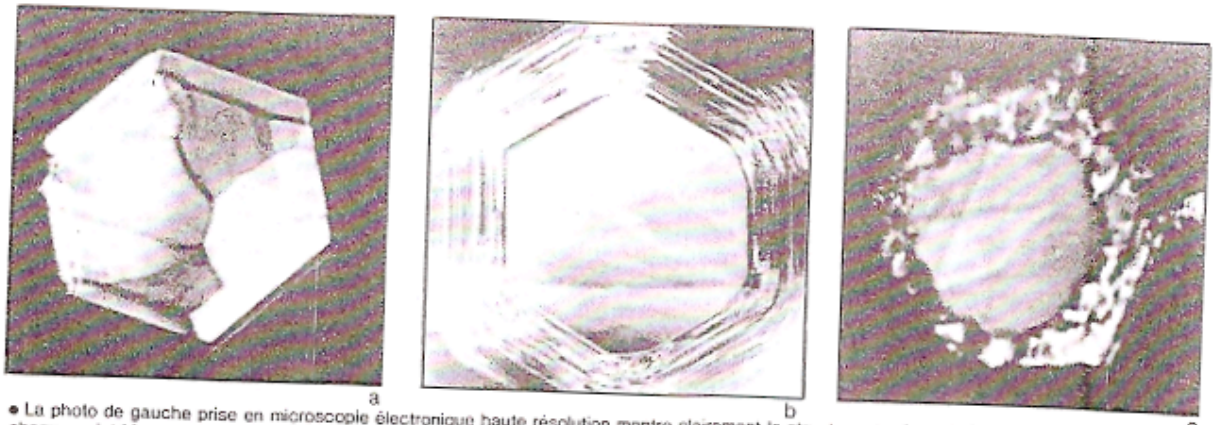
NOUVELLES TECHNOLOGIES

MATERIAUX ET HAUTE-FIDELITE

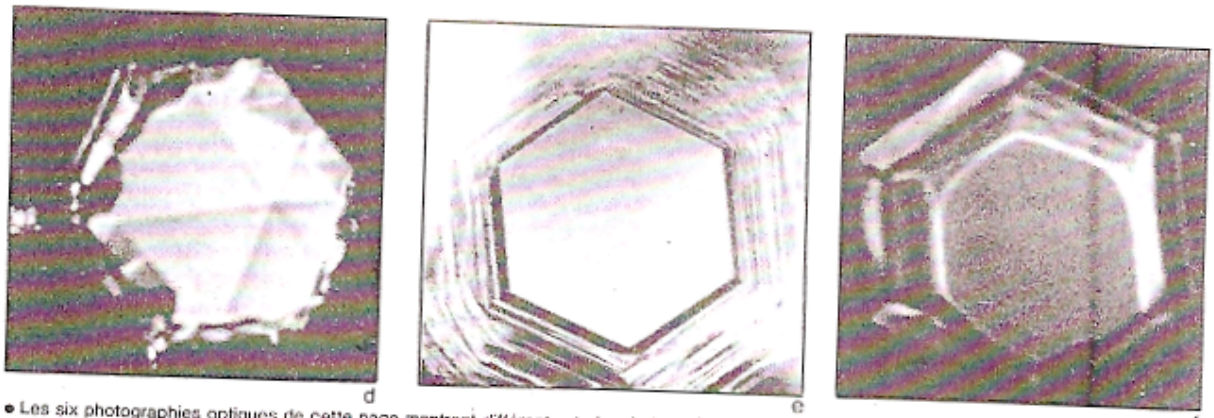
Jean-Paul Riberian

Peut-être ne nous en rendons-nous pas compte, mais un des éléments les plus importants de la révolution technologique de ces quarante dernières années est le développement tous azimuts de nouveaux matériaux. Nous sommes tous conscients du développement de l'électronique, de la micro-électronique, de la conquête de l'espace et de bien d'autres domaines nouveaux. Cependant, nous avons de la difficulté à voir que derrière toutes ces innovations se trouve le développement de nouveaux matériaux.
Pour le grand public, ceci signifie en général simplement : matières plastiques. Mais en réalité c'est toute une gamme nouvelle qui a été développée.
Après l'âge de la pierre, du fer, du bronze, nous entrons maintenant dans celui des matériaux nouveaux.



a b c

• La photo de gauche prise en microscopie électronique haute résolution montre clairement la structure atomique de la matière. En réalité, chaque point blanc ne représente pas un atome mais une rangée d'une centaine d'atomes vus en enfilade. L'échantillon observé ici est de la kaliophilite qui est intéressant par ses propriétés conductrices provenant d'ions potassium se déplaçant à travers les canaux de la structure. On observe sur la photographie avec un grossissement de 5 000 000 de rangées serrées où les atomes sont distants de 0,6 nanomètres, c'est-à-dire 0,6 millionième de millimètre ! La distance entre rangées identiques est de 2 nanomètres. Ce cliché montre la présence d'une faute d'empilement des plans atomiques. La régularité n'est plus la même entre les deux parties de l'image. On a en fait deux cristaux parfaits qui se joignent le long d'un plan appelé plan de mâcle. C'est le cas idéal d'un joint de grain tel que décrit dans l'article. On ne peut être qu'admiratif devant la précision de ces cristaux et même le défaut est d'une incroyable perfection !... Cliché A. Baronnet. Centre de Recherche sur les Mécanismes de la Croissance Cristalline, CNRS Marseille.



d e f

• Les six photographies optiques de cette page montrent différents stades de la croissance d'un cristal de cadmium en présence de sa vapeur, à des températures proches de la température de fusion du cadmium. Dans ce cas, le cristal n'est pas en équilibre, au contraire il évolue au cours du temps. On voit que le cristal de forme désordonnée en (a) se transforme en pyramides à 6 faces plus ou moins parfaites. Lorsque plusieurs pyramides se forment (b), (c), la plus importante finit par faire disparaître les autres (d), (e). Ceci prouve à quel point un matériau peut évoluer hors équilibre thermodynamique. Clichés M. Gauch et G. Quentel. Centre de Recherche sur les Mécanismes de la Croissance Cristalline, CNRS, Marseille.

Le but de cet article n'est pas de faire une revue de détails de tous les matériaux nouveaux existants mais plutôt de comprendre ce qui fait leur différence et quelles sont leurs propriétés particulières pour les applications en audio. Mais pour pouvoir comprendre l'importance de la structure de ces matériaux, il est indispensable de comprendre quelques notions fondamentales de physico-chimie. Nous devrons donc regarder certains aspects de thermodynamique et de cristallographie. Mais d'une manière très qualitative !

1. Les matériaux en haute-fidélité

En commençant à réfléchir sur le contenu de cet article, il m'est apparu qu'évidemment la fabrication des membranes des haut-parleurs était quasiment la seule utilisation de matériaux avec certaines caractéristiques dans ce domaine. Puis en approfondissant un peu plus, il m'a semblé qu'en réalité les matériaux étaient présents partout.

Afin d'être le plus clair possible, nous allons faire une revue des matériaux utilisés entrant dans la constitution d'un système haute-fidélité.

1.1. Les enceintes acoustiques

Nous venons de voir que les membranes des haut-parleurs étaient importantes dans la restitution des sons. Ce qui importe ici ce sont les qualités mécaniques, c'est-à-dire vibrationnelles du matériau. Pour quasiment les mêmes raisons on étudie les matériaux constitutifs des enceintes acoustiques.

1.2. L'électronique

Un amplificateur, ou tout système électronique, se compose de deux types de composants : les actifs et les passifs.

Parmi les éléments actifs, nous citerons les diodes, les transistors, les circuits intégrés et les tubes à vide. Les éléments inactifs sont les résistances, les condensateurs, les inductances, les transformateurs, les éléments de connexion. Nous verrons quelles sont les qualités requises pour leur réalisation et quelle sont les limitations technologiques actuelles.

1.3. Les autres éléments

Sans oublier les ensembles comme les platines de lecture analogiques et numériques, les châssis, il faut également réaliser que les éléments entrant dans la construction de la salle d'audition sont très importants et peut-être même les vêtements que l'on porte soi-même ainsi que ceux que portent l'ensemble des auditeurs !

2. La thermodynamique

Un grand domaine de la science est la thermodynamique, elle nous indique les relations entre les phénomènes mécaniques (mouvement, travail) et les phénomènes thermiques (chaleur, température). Tous les matériaux sont soumis aux lois de la thermodynamique. On définit deux notions importantes : l'équilibre thermodynamique d'une part et la cinétique d'autre part.

L'équilibre thermodynamique est la situation stable où le système n'évolue pas avec le temps. Le système formé par une bouteille fermée à une température donnée, contenant de l'eau en présence de sa vapeur à une certaine pression, n'évolue pas. En fait, il évolue mais autant de molécules d'eau s'évaporent et passent en phase gazeuse que de molécules de gaz se condensent dans l'eau. C'est un équilibre dynamique. Si la température change, cet équilibre évolue vers un autre état d'équilibre avec une autre pression de vapeur d'eau. La vitesse et la façon dont le système évolue est du domaine de la cinétique.

Sommes-nous dans un monde en équilibre ? Certainement pas. Les diamants ne sont pas éternels ! En réalité, un matériau aussi performant que le diamant est dans un état instable. Il a été fabriqué à partir de carbone dans les profondeurs de l'écorce terrestre où règnent des températures et des pressions très élevées, puis sont remontés à la surface en l'état. Mais nous savons qu'à température et pressions ambiantes, la forme d'équilibre du carbone est le graphite ! En conséquence, si nous attendons suffisamment longtemps, le diamant va se transformer en graphite ! Ceci ne veut pas dire qu'il ne faut pas investir dans le diamant, car cette période est extrêmement longue, probablement bien plus longue que la durée de vie du soleil. Alors pas d'inquiétude. Par contre, si nous élevons la température, le phénomène va s'accélérer. Après un incendie, ce n'est pas sûr que les bijoux de famille resteront intacts, ils seront peut-être simplement changés en vil charbon. On peut d'ailleurs faire soi-même l'expérience, mais dans certains cas, il vaut mieux faire confiance à ceux qui ont essayé avant nous !

La figure 1 montre les structures atomiques respectives du diamant et du graphite. Tous deux sont formés d'atomes de carbone, mais le diamant a une structure tétraédrique, c'est-à-dire que chaque atome de carbone est situé au centre d'un tétraèdre (pyramide à quatre faces triangulaires) et est relié aux quatre atomes situés aux sommets du tétraèdre par quatre liaisons atomiques. Par contre, le graphite a une structure hexagonale lamellaire. Dans le plan chaque atome de carbone est relié à trois atomes de carbone par une liaison forte comme dans le cas du diamant, tandis qu'entre feuillets, la liaison est faible. C'est ce qui explique d'une part la grande dureté du diamant avec les liaisons fortes et homogènes dans toutes les directions et d'autre part la tendresse du graphite qui en fait un matériau idéal pour des mines de crayon : par frottement, les feuillets se détachent les uns des autres sans difficultés. C'est aussi la raison pour laquelle on utilise le graphite comme lubrifiant, par exemple dans les huiles moteur graphitées. Dans l'autre direction, on utilise des fraises diamantées pour faire des têtes de forage pétrolier.

Pour passer du diamant au

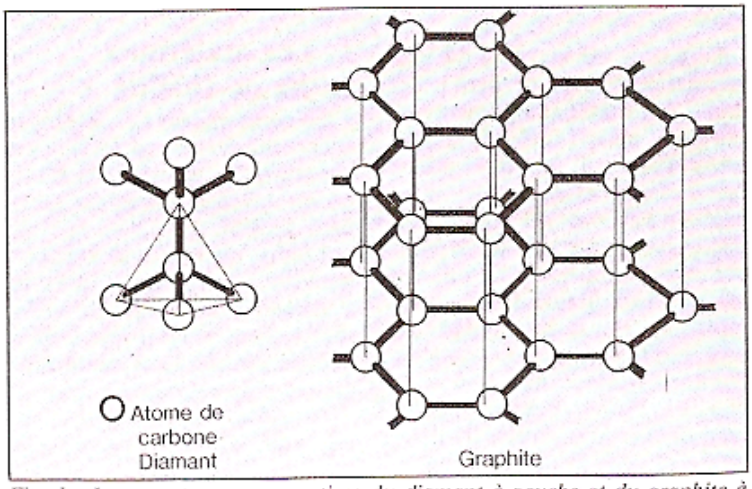


Fig. 1 : Les structures comparatives du diamant à gauche et du graphite à droite.

graphite, il faut changer le système de liaisons entre atomes de carbone. Ceci se passe très lentement à température ambiante mais très rapidement à haute température. En effet, pour un solide, la température est une mesure moyenne de la vibration des atomes autour de leur position d'équilibre. Plus l'amplitude des vibrations est grande, plus il est facile de passer d'une liaison à une autre. Au zéro absolu, c'est-à-dire à −273° C, les atomes sont quasiment fixes et ne vibrent plus. A toute autre température, ils vibrent et ainsi peuvent changer tout doucement de position.

En réalité, tous les systèmes n'évoluent pas ainsi. Dans certains cas, il faut que le système franchisse une certaine barrière de potentiel pour évoluer. En dessous d'une certaine température, le système reste stable puis au dessus de cette température il va commencer à changer. On peut facilement comprendre cela en prenant le cas d'un livre posé sur une table. Si le livre est debout et si rien ne vient perturber son équilibre, il pourra rester ainsi indéfiniment. Pourtant, ce n'est pas l'équilibre le plus stable puisque le même livre couché sera encore plus stable ! La figure 2 donne une vue schématique de ce système. Si nous faisons un graphique sur lequel est porté sur l'axe horizontal l'angle de rotation du livre et sur l'axe vertical la hauteur du centre du livre par rapport à la table, on voit qu'il y a deux minima : le plus élevé correspond au livre debout et le plus bas au livre couché. On voit sur le graphique que pour passer du point D livre debout au point C livre couché, il faut passer une barrière située au point B. Avant de basculer, le centre du livre doit s'élever légèrement au dessus du niveau d'équilibre. Si le livre est debout sans vibrer, son centre reste en D. Par contre, s'il commence à vibrer, si les amplitudes sont faibles, il restera debout autour du point D. Mais dès que les amplitudes de vibrations seront suffisamment grandes pour dépasser le point B, le livre va basculer et atteindre le point C. En thermodynamique, le phénomène est similaire : l'axe vertical est l'énergie totale du système et les amplitudes de vibrations sont équivalentes à la température. On peut donc comprendre que dans certains cas un système puisse rester dans un état métastable pendant une très longue durée. Tant que la barrière de potentiel n'est pas atteinte, rien ne se produira.

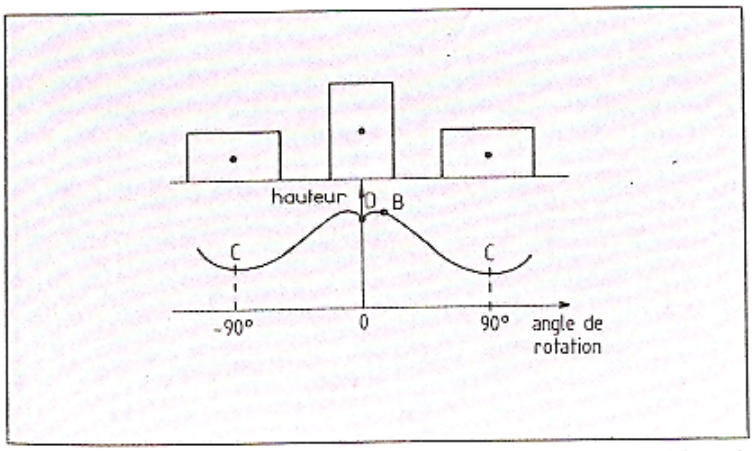


Fig. 2 : La notion de barrière. Pour passer de son état d'équilibre debout à l'état d'équilibre encore plus stable couché, le livre doit franchir la barrière en B (cf. texte).

Dans d'autres cas où il n'y a pas de barrière de potentiel, le système évolue plus ou moins vite suivant la température. S'il faut 10 minutes ou peut-être moins pour cuire des pâtes « al dente » à 100° C, c'est-à-dire à la température d'ébullition de l'eau au niveau de la mer, il ne faudra que 3 à 4 minutes dans une cocotte minute sous pression car la température de l'eau sera alors supérieure à 100° C. Par contre, dans une marmite ouverte en altitude où la pression atmosphérique est plus faible, il faudra une demi-heure ! Nous en avons tous fait l'expérience au ski ! Ceci s'explique par le fait que les réactions de cuisson sont activées par la chaleur, mais sans barrière.

3. La structure des matériaux

Depuis 2000 ans, nous pensons que la matière se décompose en éléments ultimes appelés atomes. Depuis cent ans, nous avons la preuve scientifique de l'existence des atomes et depuis quelques dizaines d'années nous avons observé grâce à de puissants microscopes les atomes individuellement. Il n'y a donc aucun doute, la matière est atomique et non pas continue.

Dans une structure solide, les atomes sont liés entre eux de deux manières : soit sous forme moléculaire, avec des assemblages de plusieurs atomes de même nature ou de nature différente, soit sous forme cristalline, avec un motif formé d'un ou plusieurs atomes qui se reproduit indéfiniment le long d'un réseau, à l'image d'un carrelage ou d'un papier peint mural. La figure 3 montre un cas de structure moléculaire et une structure cristalline à deux dimensions.

3.1. La structure cristalline

En fait, et c'est surprenant à première vue, on ne peut pas

tituer le diamant. La figure 1 donne une vue schématique de cette configuration (voir l'Audiophile numéro 5 pour plus de détails).

En réalité on pourrait fabriquer des transistors avec du germanium, du silicium ou du carbone sous forme diamant. On a utilisé le germanium, puis le silicium. Quant au diamant, le problème vient de la difficulté d'en fabriquer par synthèse. Mais cependant plusieurs laboratoires travaillent sur ce projet.

Une des caractéristiques des semi-conducteurs est la largeur du gap, ou de la bande interdite, c'est-à-dire de l'énergie qu'il faut donner à un électron de la bande de valence, pour l'amener dans la bande de conduction. La bande de valence est associée aux électrons liés aux atomes, tandis que ceux de la bande de conduction sont libres de se déplacer dans le matériau comme dans les métaux. Lorsque l'on passe du germanium, au silicium, puis au diamant, on a une largeur de bande interdite qui grandit. Cela permet de réaliser des applications très différentes. En particulier on pourrait imaginer en faisant un mélange carbone/silicium de fabriquer des matériaux à gap intermédiaire. C'est ce qui est réalisé avec les composés III - V.

Il est possible de réaliser des transistors avec d'autres matériaux semi-conducteurs. En particulier les composés de type III -V où un élément de la colonne III est associé à un élément de la colonne V. La colonne III est composée de: Bore, Aluminium, Gallium, Indium, et la colonne V d': Azote, Phosphore, Arsenic, Antimoine. On peut même réaliser des composants à partir des éléments des colonnes II et VI. Nous allons voir dans ce qui suit quels sont les avantages et inconvénients de ces matériaux, et nous verrons si les qualités uniques qui s'y rattachent permettent d'avoir des applications en haute-fidélité.

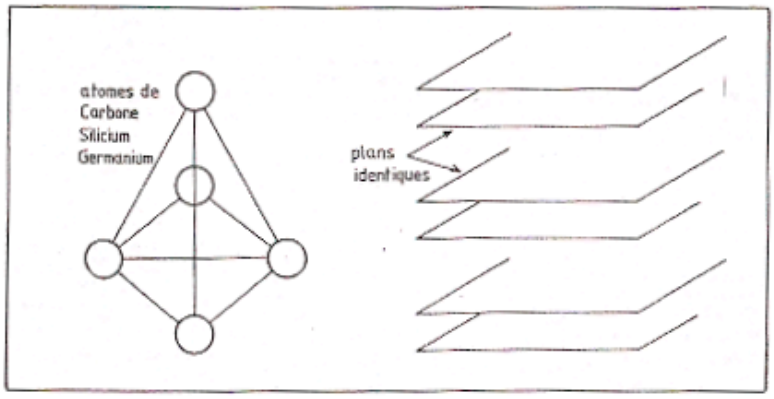


Fig. 1 : La structure diamant commune au diamant (carbone), au silicium et au germanium.

Les composés III - V

Ils ont la même structure cristalline que le diamant, donc que le silicium. La seule différence est qu'un atome sur deux est de nature différente. Le cristal a une structure lamellaire ou un plan de composé III qui est suivi d'un plan de composé V, et ainsi de suite. La figure 2 donne une vue schématique d'un tel cristal.

Deux raisons principales ont poussé au développement des transistors à base de composés III - V.

Les applications haute fréquence

Les électrons dans un matériau lorsqu'ils sont soumis à un champ électrique atteignent une vitesse limite. C'est l'analogue de la vitesse des gouttes de pluie qui tombent et qui sont freinées par l'air. Quelle que soit la hauteur d'où tombent les gouttes d'eau, elles atteignent une vitesse limite imposée par le frottement de l'air. Les électrons sont moins freinés dans les III - V que dans le silicium.

Par exemple, la mobilité est sept fois plus grande dans le GaAs ou arséniure de gallium que dans le silicium, et 26 fois plus grande dans l'InP ou Phosphure d'indium que dans le silicium. La plus grande mobilité est évidemment dans le vide, c'est-à-dire dans les tubes à vide (voir l'Audiophile n°4 sur les microtriodes). Plus la mobilité des électrons est grande, plus les électrons se déplacent rapide-

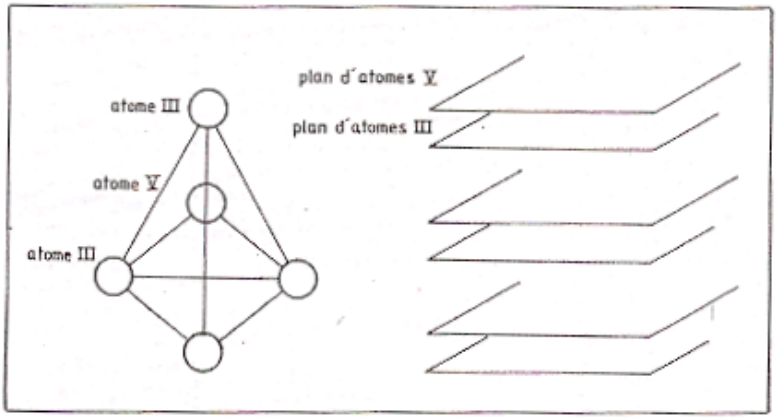


Fig. 2 : La structure cristalline des composés III-V.

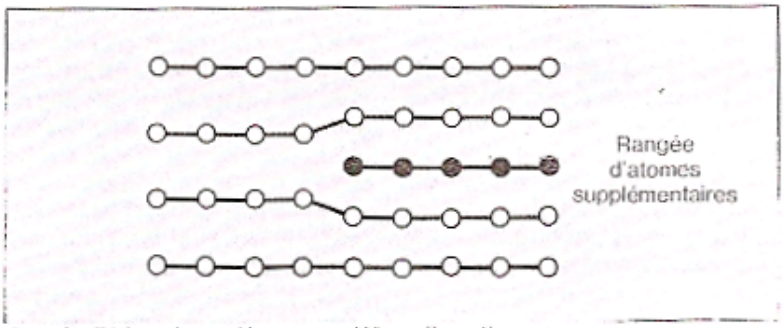


Fig. 6 : Dislocation créée par un défaut d'empilement.

plus rigide, car d'une seule pièce, alors que la même construction en pierre est très fragile, car les briques n'adhèrent pas très bien les unes aux autres. Les joints de grain sont généralement des zones de fragilisation. Ce n'est pas toujours le cas. Quelque fois, le rajout d'un peu d'impuretés dans un matériau mou peut le durcir, car les impuretés diffusent aux joints de grain et modifient le comportement des grains les uns vis-à-vis des autres. C'est tout l'art de la métallurgie que de rajouter un peu de poudre de Perlin Pinpin pour modifier la structure du métal et ainsi obtenir de meilleures performances. De ce point de vue, les matériaux purs ne sont pas nécessairement les meilleurs. On ajoute du cuivre dans l'or pour le durcir.

3.3. Les dislocations

Nous avons vu au paragraphe précédent que les critallites étaient presque parfaits. Ce qui les rend imparfaits c'est ce que les cristallographes appellent les dislocations, qui sont créées par un défaut d'empilement. La figure 6 montre un tel défaut. Les rangées d'atomes ne correspondent pas exactement entre une partie du cristal et une autre.

On s'aperçoit alors qu'il s'est créé un point faible dans la structure ; si on tire de droite à gauche le cristal, la rangée supplémentaire qui n'existe pas du côté droit peut glisser facilement et ainsi le matériau se modifie irréversiblement.

3.4. Les surfaces

Un cristal quelconque ne peut être infini, il est forcément limité par une surface. Or les atomes qui se trouvent là ne sont pas dans le même environnement que ceux situés au cœur de cristal. Un certain nombre de liaisons sont manquantes. Ceci signifie que les propriétés chimiques et mécaniques des surfaces sont différentes de celles du volume. La figure 7 montre un schéma d'une surface avec les liaisons libres. Dans certains cas, la surface se reconstruit avec une périodicité différente de celle du volume.

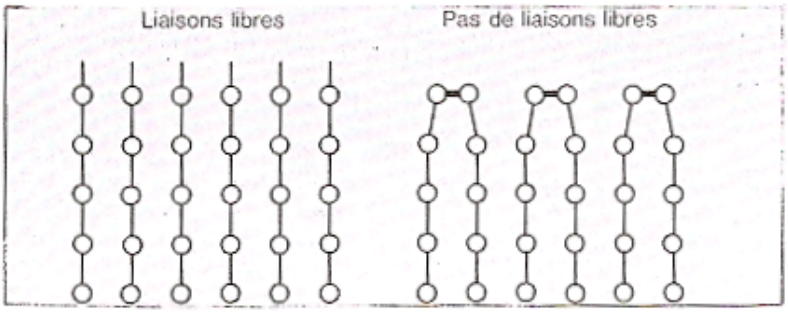


Fig. 7 : La structure en surface implique des caractéristiques particulières. A gauche, une surface non reconstruite, à droite une surface reconstruite.

Lorsqu'on a un alliage par exemple binaire d'atomes A et B avec une certaine composition, celle-ci n'est pas nécessairement respectée en surface. Nous connaissons tous malheureusement le cas du pétrole dans l'eau de mer, bien qu'en volume il y en ait très peu, on ne retrouve que du pétrole en surface ! La figure 8 donne un exemple d'un alliage binaire avec enrichissement en un des deux éléments en surface. Le mécanisme expliquant cet enrichissement est très complexe, un cas intéressant est néanmoins celui de la diffusion induite par l'oxygène. C'est ce qui se produit avec les aciers inoxydables fer-chrome qui s'enrichissent en chrome en surface sous l'effet de l'oxydation du chrome par l'oxygène de l'air. La surface oxydée joue ensuite le rôle de couche de passivation qui empêche la poursuite de l'oxydation.

4. Les propriétés des matériaux

4.1. Les propriétés mécaniques

Elles sont en rapport direct évidemment avec la nature des éléments qui les composent. Mais pour un composé donné, celles-ci varient avec des paramètres importants tels que la taille des grains, le type des joints de grains, le type et le nombre de dislocations, la répartition des éléments d'une manière homogène.

4.2. Les propriétés électriques

Les paramètres qui interviennent sont les mêmes que précédemment avec, dans le cas des semiconducteurs tels que le silicium ou l'arséniure de gallium, une sensibilité beaucoup plus grande à ces différents éléments. Les transistors et circuits intégrés sont fabriqués sur des tranches de silicium entièrement monocristallines c'est-à-dire sans joint

de grain ! Ces tranches ont couramment 150 mm de diamètre et dans un avenir proche elles auront 200 à 250 mm de diamètre ! Dans ce cas, le matériau doit en plus avoir un minimum de dislocations, car ce sont des pièges pour les électrons qui se déplacent et qui se trouvent bloqués sur un défaut cristallin. Les matériaux doivent aussi être très purs, car la moindre impureté agit comme un dopant et en change complètement les propriétés conductrices. Dans la réalisation des transistors, les impuretés sont placées d'une manière contrôlée pour modifier les propriétés conductrices.

4.3. La résistance à la corrosion

Tous les matériaux sont en contact permanent avec un milieu extérieur, solide, liquide ou gazeux. Une intéraction a donc lieu avec les atomes ou molécules de ce milieu. Cette intéraction se produit par l'intermédiaire de la surface qui est donc extrêmement importante. Par exemple, l'oxygène de l'air réagit avec les atomes de surface d'un métal pour former un oxyde de surface, puis les molécules d'oxygène peuvent diffuser à l'intérieur du matériau en suivant les interstices que sont les joints de grains. La figure 8 montre une vue schématique de l'oxydation.

Il faut savoir qu'il est mille fois plus facile de faire diffuser une molécule sur une surface ou un joint de grain qu'à l'intérieur d'un cristal massif. On s'est aperçu qu'un morceau de fer monocristallin, c'est-à-dire sans joint de grain restait intact au contact de l'oxygène de l'air alors que nous savons tous que le fer s'oxyde très rapidement.

5. Les comportements des matériaux

Pour terminer cette première partie, nous allons aborder les matériaux pour l'audio vis-à-vis de leur comportement sans entrer dans le détail de chaque composant qui sera vu lors d'une deuxième partie.

L'ensemble de composants d'une chaîne devra répondre à certaines qualités spécifiques liées à l'audition : bande passante de 20 kHz, dynamique de 90 dB. Dans ce qui suit, nous examinerons les aspects vibratoires, électriques et électroniques attachés au choix des matériaux.

5.1. Les comportements vibratoires

Les propriétés élastiques des matériaux sont mises à profit principalement dans les éléments des enceintes acoustiques. Les membranes des haut-parleurs doivent transmettre fidèlement les vibrations produites dans le transducteur. Elles doivent donc être à la fois rigides pour transmettre fidèlement les vibrations, mais également légères afin de ne pas opposer de forces d'inertie qui ralentiraient et filtreraient les mouvements imposés. Les réponses en fréquence et en intensité rendent les choix des matériaux très difficiles. Par ailleurs, le grand nombre de mouvements auxquels sont soumis les membranes des haut-parleurs ont un effet de vieillissement pouvant changer les caractéristiques du matériau.

Les enceintes acoustiques sont, dans la plupart des cas, des assemblages de panneaux dont les qualités de réponse en fréquences sont le résultat de la géométrie de la structure et de la qualité de réponse vibrationnelle des matériaux. En ce qui nous concerne ici, nous pouvons voir qu'aussi bien le matériau que la structure peuvent évoluer au cours du temps. Le matériau évoluera à cause de l'humidité ou de la sécheresse, du froid ou du chaud qui en transformeront les structures moléculaires ou cristallines. La structure de l'enceinte acoustique se modifiera par déformation des panneaux et évolution des fixations ou des collages.

5.2. Les comportements électriques

Les éléments électriques inactifs tels que les câbles, les contacts, sont tous soumis aux lois de la diffusion qui font que les différentes zones de l'élément ont tendance à se mélanger très lentement et ce, d'autant plus vite que la température est plus élevée. Les agressions des gaz ambiants, principalement l'oxygène de l'air, mais également la vapeur d'eau, ont pour effet de modifier certaines caractéristiques. Le cas le plus courant est celui des contacts électriques qui sont d'une grande importance car une légère couche d'oxyda-

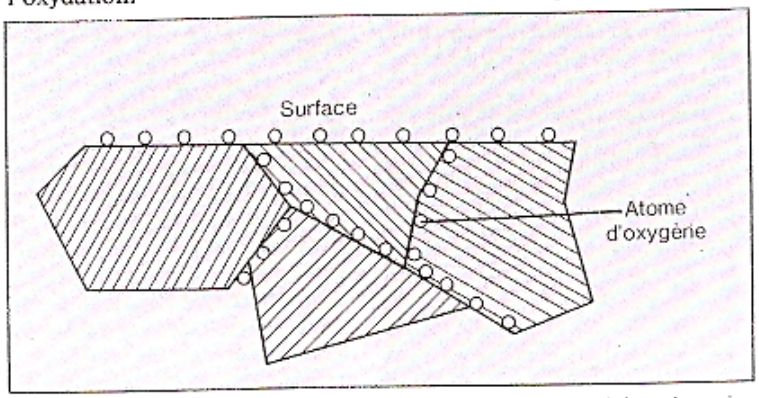


Fig. 8 : L'oxydation aux joints de grains des surfaces et les joints de grains sont beaucoup plus perméables que les cristaux eux-mêmes.

tion sur un contact produira un effet résistif et capacitif, mais aussi aura un rôle de diode de redressement, un peu comme dans un poste à galène !

Les câbles de liaison sont d'une grande importance en audio et ne sont pas tous équivalents. Le métal utilisé, la dimension des brins, la taille des grains font que les différences peuvent être nettes entre divers câbles de connexion. Si c'est un alliage, celui-ci peut évoluer au cours du temps. Sous l'effet du passage du courant électrique, des impuretés peuvent se déplacer par électro-migration et se placer en surface ou dans les joints de grain. Une accumulation d'impuretés peut finir par créer des zones où les caractéristiques électriques sont différentes. Des effets résistifs et capacitifs peuvent apparaître et ainsi créer des distorsions dans les signaux, par exemple en produisant des déphasages.

5.3. Les comportements électroniques

Les circuits intégrés et transistors de tous types sont encore plus soumis aux lois de la diffusion qui font que les différentes zones du composant interdiffusent les uns dans les autres avec une cinétique d'autant plus grande que la température est plus élevée. Les composants électroniques actifs sont montés dans des boîtiers scellés qui servent de protection contre les agressions des gaz ambiants tels l'oxygène et la vapeur d'eau. Cependant au cours du temps, et surtout à cause de l'élévation de la température, des fissures peuvent se créer et des réactions chimiques indésirées se produire.

Il ne faut pas croire que les tubes à vide sont complètement immunisés contre de tels phénomènes car, dans ce cas, l'effet de température est primordial. Les éléments constitutifs du tube sont dans un vide statique médiocre et les gaz résiduels activés par la température réagissent avec les filaments pour en changer les propriétés émissives. Les molécules de gaz résiduel sont ionisées par les électrons émis par la cathode et la bombardent. Des atomes du filament sont pulvérisés et se redéposent un peu partout, en particulier sur les isolants, ce qui les rend conducteurs. Les fuites électriques ainsi produites changent les caractéristiques de ces composants actifs.

Conclusion

Nous venons de faire une brève description des principes de base décrivant les matériaux aux points de vue structurels et thermodynamiques. Nous avons vu que pour certains éléments de la chaîne audio, les caractéristiques désirées étaient pointues et difficiles à conserver au cours du temps. Dans la deuxième partie, nous examinerons en détail les différents éléments et nous verrons sous le double angle audio et matériau ce qui fait leurs qualités et leurs défauts. Enfin nous donnerons quelques règles générales pour conserver et améliorer la qualité de sa chaîne au cours du temps.

ICP - BP 12 - 63, rue de Coulommes - 77860 QUINCY-VOISINS
Tél. (1) 60.04.04.24 - Télex : 692 747 - Télécopie : (1) 60.04.45.33.
Ouvert de 8 h à 12 h et de 14 h à 17 h - Fermé samedi après-midi, dimanche et fêtes.

TUBES extrait de notre catalogue

10	95,00 F	5W4GT/USA	15,00 F	6080WA	75,00 F
12AT7WA	24,00 F	5Y3GB	32,00 F	6080WB	160,00 F
12AT7WA/doré	50,00 F	5Y3GT	16,00 F	6189	24,00 F
12AU7/ECC82	12,00 F	5751	24,00 F	6189W	72,00 F
12AU7A/USA	20,00 F	5751WA	75,00 F	6550A/GE	195,00 F
12AU7WA	24,00 F	5965	32,00 F	7025/USA	135,00 F
12AX7/ECC83	25,00 F	6A7/USA	36,00 F	7199	135,00 F
12AX7S/WA	64,00 F	6AN8A	40,00 F	7247	115,00 F
12BH7/QB	75,00 F	6AW8A/USA	63,00 F	7586/RCA	250,00 F
12BY7/USA	66,00 F	6CS4/USA	23,00 F	7895/RCA	205,00 F
12DW7	115,00 F	6CW4/RCA	150,00 F	E80CC	270,00 F

Vous cherchez un tube, n'hésitez pas !!! Contactez-nous, nous avons plus de 2 000 références en stock

13CW4/USA	320,00 F	6F6GT/USA	21,00 F	E84L/7320	168,00 F	EL34/PHILIPS	80,00 F
2A3/USA	125,00 F	6H6M/USA	21,00 F	E88C	64,00 F	EL34/SIEMENS	95,00 F
30/USA	105,00 F	6L6G	40,00 F	E88CC/RTC	65,00 F	EL84	23,00 F
300B	sur demande	6L6GAY/USA	40,00 F	E90CC	32,00 F	EL156/TK	479,00 F
310B/WE	385,00 F	6L6M/RCA	60,00 F	E180CC	42,00 F	EL519/UNISS	64,00 F
41/USA	50,00 F	6L6WGA/5881	80,00 F	E181CC	34,00 F	GZ32	32,00 F
5R4GY/USA	40,00 F	6L6WGB/5932	80,00 F	E182CC	115,00 F	GZ34	34,00 F
5R4GYS/USA	80,00 F	6V6G/USA	25,00 F	E188CC	112,00 F	KT66/GE	350,00 F
5R4WGA/USA	50,00 F	6V6GT/USA	13,00 F	EF86	22,00 F	KT90/TK5	sur demande
5R4WGB/USA	72,00 F	6SJ7M/USA	20,00 F	EF86/PHILIPS	42,00 F	KT88	sur demande
5R4WGY/USA	72,00 F	6SN7GT/USA	20,00 F	EF86/MAZDA	34,00 F	OD3/USA	20,00 F

CONDENSATEURS SI : SIC/SAFCO - SP : SPRAGUE - M : MICRO - N : NOVEA

CHIMIQUE

80 µF/450 V/SP	15,00 F	32 µF X2/500 V/SI	30,00 F
320 µF/300 V/SI/CO22	35,00 F	100 µF/350 V/M	20,00 F
470 µF/350 V/N/CO39	50,00 F	470 µF/220 V/SI/CO10	30,00 F
1 250 µF/80 V/SI	15,00 F	1 000 µF/500 V/SI/CO18	125,00 F
2 200 µF/40 V/SI/CO18	25,00 F	1 600 µF/80 V/SI	35,00 F
3 300 µF/100 V/SI/CO38	50,00 F	3 200 µF/63 V/SI	30,00 F
4 700 µF/160 V/SI/CO38	50,00 F	4 000 µF/50 V/SI	30,00 F
6 800 µF/100 V/SI	50,00 F	4 700 µF/40 V/SI/CO18	30,00 F
10 000 µF/50 V/SI/CO22	50,00 F	10 000 µF/40 V/SI/CO38	75,00 F
22 000 µF/25 V/N	35,00 F	15 000 µF/25 V/SI/CO18	35,00 F
		33 000 µF/25 V/N/CO39	40,00 F

PAPIER

6 µF/1 000 V	60,00 F	2 µF/3 400 V	45,00 F
		6,3 µF/3 150 V	250,00 F

SUPPORTS DE TUBES

OCTAL STEATITE	40,00 F	OCTAL BAKELITE	15,00 F
OCTAL STEATITE TRIPLE LYRE	100,00 F		
NOVAL STEATITE ARGENTE	25,00 F		
NOVAL STEATITE DORE	65,00 F		
MAGNOVAL STEATITE	15,00 F		
4 BROCHES/USA	25,00 F	5 BROCHES/USA	25,00 F
6 BROCHES/USA	25,00 F	7 BROCHES/USA	25,00 F
CLIP/S110/STEATITE	50,00 F	CLIP/EL519/BAKELITE	5,00 F

Sur place un très grand choix de composants actifs et passifs

Catalogue de tubes contre 18F en timbres

TRANSFO D'ALIMENTATION : extrait de notre catalogue

1116/110083 : Prim. 110/220 V - Sec. 2 x 260 V/300 mA - 5 V/2 A - 6,3 V/2 A	250,00 F
A15887 : Prim. 110/220 V - Sec. 2 x 350 V/300mA - 5 V/3A - 6,3 V/4 A	350,00 F
US51A : Prim. 110/220 V - Sec. 2 x 720 V/350 mA - 6,3V/14A - 5 V/5 A	250,00 F
US51B : Prim. 110/220 V - Sec. 2 x 735 V/500 mA - 6,3V/14A - 5 V/5 A	350,00 F

Expédition par TRANSPORTEUR en PORT DU. - Catalogue de TRANSFOS contre 6,00 F en timbres.

LAMPEMETRE Portatif type TV7/U (US)
Permet de tester tous types de tubes miniatures OCTAL, NOVAL 4, 5, 6, 7, contacts, etc. 350,00 F
Notice US 150,00 F Expédition transporteur en port du.

consultez l'Annuaire Electronique
Nom : ICP
Loc. : QUINCY-VOISINS
Dépt. : 77

CONDITIONS GENERALES DE VENTE : règlement par chèque joint à la commande. Minimum de facturation : 100,00 F TTC. - Montant forfaitaire emballage et port recommandé : + 40,00 F. - Toutes les marchandises voyagent aux risques et périls du destinataire.