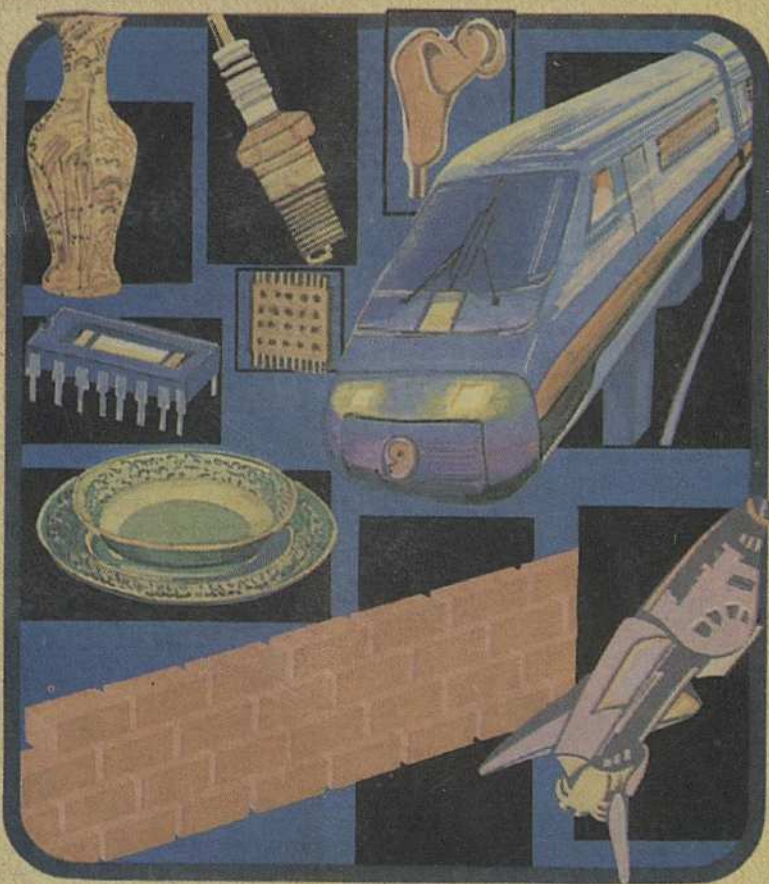


चिरकालीन सिर्म्मिक्स



:अनुवादक :

डॉ. प्रकाश दळवी



महाराष्ट्र राज्य साहित्य आणि संस्कृती मंडळ, मुंबई

चिरकालीन सिरॅमिक्स

बी.सी. शर्मा लिखित
CERAMICS ARE FOREVER
या पुस्तकाचा अनुवाद

अनुवादक
प्रकाश दळवी



महाराष्ट्र राज्य साहित्य आणि संस्कृती मंडळ, मुंबई

पहिली आवृत्ती : जुलै, २००२

प्रकाशक :

सचिव,

महाराष्ट्र राज्य साहित्य आणि संस्कृती मंडळ,
मुंबई मराठी ग्रंथसंग्रहालय इमारत, तिसरा मजला,
१७२, मुंबई मराठी ग्रंथसंग्रहालय मार्ग,
दादर, मुंबई - ४०००१४.

© प्रकाशकाधीन

मुद्रक :

शिवराज फाईन आर्ट लिथो वर्क्स,
(शासनमुद्रण व लेखनसामग्री, संचालनालयाअंतर्गत)
सुभाष रोड, नागपूर - ४४००१८.

किंमत : रु. ४५/-



मनोगत

कपबशा , थाळ्या आदि चहापानाचे साहित्य, स्वच्छता पात्रे, तसेच बरण्या, फुलदाणी अशी अश्मपात्रे म्हणजे 'सिरॅमिक्स' अशी सर्वसामान्य लोकांची समजूत असते. गेल्या ४०-५० वर्षांत संशोधनाद्वारे सिरॅमिक्स मधील बहुविध गुणधर्मांचे आकलन होण्याबरोबरच सिरॅमिक्सच्या वस्तूंनी अक्षरशः ब्रह्मांड व्यापून टाकले आहे. व त्यात अजूनही भर पडत आहे ह्याची माहिती खूप थोड्या लोकांना आहे.

भाभा अणुसंशोधन केंद्रात सुमारे ३५ वर्षे सिरॅमिक्स विषयांत संशोधन करीत असतांना ह्या विषयाची व्याप्ती किती प्रचंड आहे ह्याची जाणीव झाली. ५-६ वर्षांपूर्वी मराठी विश्वकोषाचे काम करीत असताना मराठी भाषेत सिरॅमिक्सची माहिती 'पॉटरी' ह्या मर्यादित भागातील प्राथमिक स्वरूपात असल्याचे आढळल्याने सिरॅमिक्स विषयी सविस्तर लिहावे असे प्रकर्षाने वाटू लागले. ह्याच काळात योगायोगाने माझे सहकारी श्री वाटवे यांचेमुळे महाराष्ट्र राज्य साहित्य व संस्कृति मंडळाचे अध्यक्ष डॉ. य. दि. फडके ह्यांचा परिचय झाला. त्यांनी सी.एस.आय.आर. , नवी दिल्ली ह्या संस्थेने सुवर्ण महोत्सवी वर्षानिमित्त सुबोध इंग्रजी भाषेत प्रकाशित केलेल्या विविध विषयांवरील Ceramics पुस्तकांपैकी सिरॅमिक्स विषयावरच्या Ceramics are forever ह्या पुस्तकाचा मराठी अनुवाद करण्याचे काम माझ्यावर सोपवले व माझ्या मनातली इच्छा पूर्ण करण्याची संधी मला लाभली ह्याबद्दल डॉ. य.दि. फडके व महाराष्ट्र राज्य साहित्य आणि संस्कृती मंडळाचा मी अत्यंत ऋणी आहे.

मराठीमध्ये अनुवाद करतांना प्रत्यही इंग्रजी संज्ञांना मराठीमधील अचूक प्रतिशब्द शोधणे तसेच मराठी भाषांतर ओघवत्या भाषेत रहावे यासाठी भाभा अणुसंशोधन केंद्रातील माझे सहकारी डॉ रविंद्र पाटील व श्री प्रभाकर शुक्ल या मित्रद्वयांशी चर्चा करून हस्तलिखित तयार केले याची नोंद करणे आवश्यक वाटते. निवृत्तीनंतर सातारा जिल्ह्यातील एकंबे या छोट्या गावात वास्तव्य करीत असतांना अनुवादाची मुद्रिते काळजीपूर्वक तपासण्यासाठी उत्साही तरुण श्री राजकुमार निवृत्ती चव्हाण यांनी सहाय्य केले त्याचा उल्लेख करावासा वाटतो.

वैज्ञानिक पार्श्वभूमी नसणाऱ्या सामान्य मराठी वाचकांना ' सिरॅमिक्स' ह्या विश्वव्यापी विषयाची प्राथमिक स्वरूपात कां होईना माहिती व्हावी व त्यांचेपैकी तरुण विद्यार्थ्यांनी सिरॅमिक्स विषयात संशोधनाकडे आकर्षित व्हावे ही हा अनुवाद करण्यामागे इच्छा आहे.

प्रकाश दळवी

०००

निवेदन

“चिरकालीन सिरॅमिक्स” हा बी.सी. शर्मा यांच्या "CERAMICS ARE FOREVER" या पुस्तकाचा डॉ. प्रकाश दळवी यांनी केलेला मराठी अनुवाद आहे. विज्ञान विषयक पुस्तके मराठी वाचकांना उपलब्ध करून देण्याची महाराष्ट्र राज्य साहित्य आणि संस्कृती मंडळाची ही योजना आहे. त्या योजनेअंतर्गत हा मराठी अनुवाद आम्ही प्रसिद्ध करीत आहोत.

दैनंदिन जीवनात सिरॅमिक्सचा आपण इतका आणि असा वापर करीत असतो की त्याची पुरेशी ओळख करून घेण्याचीही आपल्याला आवश्यकता वाटत नाही. “वैज्ञानिक पार्श्वभूमी नसणाऱ्या सामान्य मराठी वाचकांना सिरॅमिक्स ह्या विश्वव्यापी विषयावरची प्राथमिक स्वरूपात का होईना माहिती व्हावी व त्यांच्यापैकी तरुण विद्यार्थ्यांनी सिरॅमिक्स विषयात संशोधनाकडे आकर्षित व्हावे” हा अनुवाद करण्यामागे लेखकाचा हेतू असून हा हेतू सफल झालेला आहे, असे हे पुस्तक वाचन झाल्यानंतर निश्चितच लक्षात येते.

मुंबई

दिनांक : १६ एप्रिल, २००२

(रा.रं. बोराडे)

अध्यक्ष

महाराष्ट्र राज्य साहित्य आणि संस्कृती मंडळ

वाटचाल

शास्त्रीय व औद्योगिक संशोधन परिषद (सी.एस.आय.आर.) ह्या संस्थेची १९४२ मध्ये स्थापना झाली. देशाची आधुनिक विज्ञान तसेच आर्थिक व औद्योगिक क्षेत्रांत भरभराट करण्याच्या उद्देशाने ह्या संस्थेने स्वतःस वाहून घेतले आहे. गेली अनेक वर्षे सी.एस.आय.आर. ने विविध विज्ञान शाखेतील ज्ञान संपादनाची क्षमता निर्माण करण्यासाठी पाया घालणे, विविधांगी क्षेत्रातील संशोधन व विकास ह्यासाठी उत्तम आयोजन तसेच राष्ट्रीय स्तरावर प्रामाणिकरण, तपासणी व प्रमाणपत्रांची सुविधा उपलब्ध करून दिल्या. त्याच बरोबर शास्त्रज्ञांना प्रशिक्षण, विज्ञानाची गोडी समाजांत निर्माण करणे व त्या योगे देशांत शास्त्रीय दृष्टीकोणातून मूल्यमापन करण्याची प्रवृत्ती दृढमूल करणे ही कामे देखील अंगिकारिली आहेत. ४१ प्रयोग शाळांच्या माध्यमाद्वारे सी.एस.आय.आर. चे जाळे देशभर विणलेले असून त्यामध्ये रेणवीय जीव विज्ञाना पासून खाणकाम विज्ञानापर्यंत, औषधी वनस्पती शास्त्रापासून यांत्रिकी अभियांत्रिकी पर्यंत गणिती नमुनाकृती पासून हवामान शास्त्रापर्यंत व रसायन शास्त्रापासून कोळसा तंत्रज्ञान इ.इ. पर्यंत विविध क्षेत्रांत प्रगत वाटचाल सुरू ठेवली आहे.

सी.एस.आय.आर. ने त्यांची उद्दिष्ट्ये गांठत असतांना आधुनिक तंत्रज्ञान क्षेत्रांत कौशल्य व अव्वल स्थान संपादन करण्याच्या दृष्टीने लक्ष दिलेले आहे. अत्युच्च व अत्याधुनिक तंत्रज्ञान क्षेत्रांत मिळविलेल्या मान्यताप्राप्त संशोधनामध्ये ऊतक संवर्धित बांबूला किमान वेळांत फुलोरा आणणे, डी.एन.ए. चे ठसे घेणे, झिओलाईट ह्या अभिजात नसणाऱ्या धातू सहाय्यकांची निर्मिती, हिंदी महासागराच्या तळाशी मिळणाऱ्या बहुधात्विक ग्रंथीचें उत्खनन, वजनास अत्यंत हलक्या अशा संमिश्रांपासून संशोधित विमान बनविणे, उच्चतापमानाचे अतिसंवाहक ह्या कांही उदाहरणांचा समावेश होतो.

तरुण शास्त्रज्ञांनाची सतत भरती केल्याशिवाय शास्त्र व तंत्रज्ञानाची प्रगति शक्य नाही ह्या जाणिवेने सी.एस.आय.आर. ने मानव विकास संशोधनाचे विविध उपक्रम विद्यापीठ अनुदान आयोगाद्वारे योजून विज्ञान व तंत्रज्ञान शाखेतील पदवीधर तरुणांनी आपला जीवनक्रम संशोधनाच्या क्षेत्रांत व्यतीत करावा अशी प्रेरणा उत्पन्न करण्याचे प्रयास जारी केले आहेत.

तथापि एवढे करून देखील आधुनिक विज्ञाना संबंधी कदर करणारे वातावरण असल्याशिवाय अपेक्षित परिणाम संपादणे शक्य नाही. जो पर्यंत बहुसंख्य समाजांत शास्त्रीय विषयांबाबत पारंपारीक गैरसमजापोटीची भीती अथवा शास्त्र म्हणजे आपल्या आवाक्याबाहेरचे असा अपसमज आहे. तोपर्यंत शास्त्रीय चिकित्सक वृत्ती दृढमूल करणे कठीण आहे.

सी.एस.आय.आर. ला ह्या विषयीची सतत जाणीव असल्या कारणाने

समाजांत शास्त्रीय विषयांची रूचि विशेषतः सुबोध पुस्तकांच्या माध्यमातून निर्माण करण्याचा त्यांचा प्रयत्न जारी आहे. शास्त्राबाबत समाजात गोडी उत्पन्न करणे, शास्त्रीय मूलतत्त्वे, त्यांचे उपयोग व अनुषंगाने संपादलेले यश ह्यांची माहिती छापील स्वरूपांत अथवा टी. व्ही, रेडीओ सारख्या इलेक्ट्रॉनिक माध्यमाद्वारे घरोघर पोहोचविण्याच्या योजना त्यांनी हाती घेतल्या आहेत. ह्याचा दुहेरी फायदा अपेक्षित आहे. एकतर बुद्धीमान परंतु अनभिज्ञ व्यक्तिला त्या विषयाची ओळख झाल्यामुळे तसेंच पर्यायाने अत्याधुनिक क्षेत्रांची माहिती मिळाल्याने आपले शैक्षणिक क्षेत्र निवडण्यास मदत होईल. अशा तऱ्हेने अनेक विषयांची तोंड ओळख झाल्यामुळे शास्त्रीय व तांत्रिक विषयांची गोडी निर्माण होऊन आपापल्या आवडीनुसार व कुवती प्रमाणे अभ्यास गुणाची निवड करणे सुलभ होईल. त्यांना अंधारात चाचपडत रहावे लागणार नाही. अर्थात ह्या क्षेत्रांत कितीही परिश्रम घेतले तरी परिपूर्णता मिळाल्याचे समाधान अशक्य आहे.

सी एस आय आर च्या सुवर्ण महोत्सवी वर्षानिमित्त अणुपासून ब्रह्मांडापर्यंतचे विविध विषयावर आकर्षक, रसाळ भाषेत क्रमशः वाङ्मय सादर करून लोकप्रिय मालिका निर्माण करणे हा मूळ उद्देश आहे. ह्यामध्ये खगोल शास्त्र, वातावरण विज्ञान, सागर विज्ञान, नवीन पदार्थ, प्रतिरक्षा विज्ञान, व जैव तंत्रज्ञान इत्यादींचा समावेश आहे.

अशा विविध पुस्तक मालिकेमुळे एक मोठा व विभिन्न आवडीचा वाचक वर्ग तयार होईल व आपल्या आवडीच्या विषयात अधिकाधिक रूचि निर्माण करण्यासाठी व त्या विषयांचे ज्ञान संपादनासाठी प्रोत्साहित होईल. औत्सुक्यपूर्ण अशा अद्भूत शास्त्रीय विषयांच्या विश्वात घटकाभर सफर करण्याचा आनंद आमच्या वाचकांना लाभावा ही आशा बाळगून त्यासाठी शुभेच्छा व्यक्त करतो.

प्रस्तावना

मानव व पदार्थ ह्यांचे अनादिकाळापासून अतूट साहचर्य आहे प्राचीन काळापासून मानव सतत नवनवीन पदार्थांचा सखोल अभ्यास करीत आलेला आहे. त्या योगे त्याच्या राहणीमानांत फरक पडत आलेला आहे. ह्या नव्या पदार्थांनी मानवाला सुधारित संस्कृतीकडे वाटचाल करण्यास प्रवृत्त केले. सिरॅमिक्स ही मानवनिर्मित अशी सर्वात प्रथम वस्तू ! अगदी प्राचीन काळी सिरॅमिक्स हे पाणी व उष्णता ह्यांच्या दुष्परिणामा पासून सर्वाधिक मुक्त असण्याच्या गुणमर्धामुळे गृहोपयोगी मातीची भांडी बनविण्यासाठी म्हणून महत्वाचे मानले जाई. आजच्या आधुनिक जगांत सिरॅमिक्स मधील चुंबकीय व विद्युत गुणधर्म अत्यंत लाभदायक वस्तू बनविण्यासाठी आकर्षित करतात.

ह्या लहानशा पुस्तकांत सिरॅमिक्स मधील वैविध्यपूर्ण गुणधर्मांचा आवश्यक अशा वेगवेगळ्या वस्तू बनविण्यासाठी केलेल्या उपयोगांचा परामर्श घेण्याचे योजले आहे. अर्थात सिरॅमिक्सच्या सर्व गुणविशिष्टांचा आढावा घेणे शक्य झालेले नाही. हे पुस्तक सर्वसामान्य वाचकाला 'सिरॅमिक्स' ह्या विषयाची ओळख करून देण्याच्या मुख्य उद्देशाने लिहीलेले आहे.

सुरुवातीस गृहोपयोगी व विविध उद्योगधंद्यात वापरांत येणाऱ्या सिरॅमिक्सच्या वस्तूंची प्राथमिक ओळख करून दिल्यानंतर चिकणमातीच्या गुणधर्माबाबत थोडे विस्तारपूर्वक लिहीलेले आहे. कारण ह्याच गुणधर्मांचा वापर "मानव निर्मित सर्वात प्रथम वस्तू" बनविण्यासाठी करण्यांत आलेला होता. मृत्पात्र किंवा पॉटरी ह्यांचे दोन मुख्य भाग -त्यांचा विस्तार ह्या गोष्टींचा देखील आढावा घेतलेला आहे. सिरॅमिक्स मधील ताकद व भंगुरता ह्यांच्या मर्यादांमुळे सिरॅमिक्सचा संरचित पदार्थ म्हणून होऊ शकणारा वापर ह्या संबंधी नंतरच्या प्रकरणांत लिहीले आहे. सिरॅमिक्सच्या विद्युत गुणधर्मांचा वापर अनेकविध वस्तू बनविण्यासाठी केला जात असल्याने नंतरची दोन प्रकरणे ह्या विषयासाठी खर्चिली आहेत. शेवटच्या प्रकरणांत सिरॅमिक्सच्या वैद्यकीय शास्त्रातील उपयोगा संबंधी लिहीले आहे.

जे लोक सिरॅमिक्स ह्या विषयाशी पूर्वपरिचित आहेत त्यांना ह्या पुस्तकांत कांही मुद्दे अधिक सखोलतेने लिहायला हवे होते किंवा कांही मुद्यांची निवड ही सुसंबद्ध न वाटण्याची शक्यता आहे व ह्याला मी जबाबदार असेन. त्यासाठी क्षमस्व ! हे पुस्तक म्हणजे सर्वेसर्वा किंवा अगदी परिपूर्ण आहे असा कोणताही दावा मला करावयाचा नाही. कारण सिरॅमिक्स मधील अनेकविध व आकर्षक गुणधर्मांची तोंडओळख करून देण्यापुरताच माझा मर्यादित उद्देश आहे. सिरॅमिक्स ह्या विषयाशी अपरिचित अशा वाचकांना त्यापासून लाभ व आनंद मिळाल्यास माझ्या श्रमांचे सार्थक झाले असे मी मानतो.

ऋणनिर्देश

असॅद्रिय रसायन शास्त्रातील शिक्षण घेतल्यामुळे मला नेहमीच आवर्त सारणीतील चवथ्या गटातील कार्बन ह्या मूलद्रव्याच्या बरोबरीने असणाऱ्या सिलिकॉन ह्या बहुगुणधर्मी मूलद्रव्यांचे आकर्षण वाटते. भूगर्भात विपुलतेच्या दृष्टीने दुसऱ्या क्रमांकावर असणारे हे मूलद्रव्य औद्योगिक दृष्ट्या अत्यंत महत्त्वाचे आहे. सर्व खनिजांमध्ये प्रमुख व आधारभूत ही आहे. सिलिकॉन ह्या मूलद्रव्याची ऑक्सीजनशी 'सिलिकेट' ह्या रूपातील संयुगे ही अत्यंत आकर्षक असून 'पी. आय. डी. सायन्स फीचर सेरीज मध्ये सुमारे अर्धा डझन शास्त्रीय लेखांद्वारे मी त्यांचे स्वरूप अंशतः सादर केलेले आहे. त्यामुळे पी. आय. डी. चे संचालक डॉ. जी. पी. फोंडके ह्यांनी जेव्हा सिरॅमिक्स ह्या विषयावर लोकप्रिय वाङ्मयाच्या स्तरावर लिहीण्या बाबत आवाहन केले तेव्हा मी ते तात्काळ सहर्ष स्वीकारले. डॉ. फोंडके सारख्या तत्पर मार्गदर्शकाचे मला सहाय्य मिळाले ते माझ्या दृष्टीने अधिक मूल्यवान आहे. कारण डॉ. फोंडके हे केवळ वरिष्ठ संपादक नसून लोकप्रिय वाङ्मय लिहीणारे प्रतिभावंत साहित्यिक देखील आहेत त्यांच्या उपयुक्त अशा टीकात्मक सूचनांमुळेच उत्तम लोकप्रिय साहित्य कृति निर्माण करण्याची कला मी अवगत करू शकलो.

माझे परममित्र श्री विमल बसू जे स्वतः प्रख्यात शास्त्रज्ञ आहे. त्यांनी सुरुवातीपासून दिलेल्या सततच्या प्रोत्साहनाने माझा पुस्तक लिहीण्याचा उत्साह शेवट पर्यंत टिकला. डॉ. आर्. पी. टंडन - एन. पी. एल. नवी दिल्ली ह्यांनी पुस्तकातील एका प्रकरणाबाबत सखोल अभ्यासास सहाय्य केले. तसेच श्री एस. के. नाग ह्यांनी हस्तलिखित सूक्ष्मपणे तपासून सुयोग्य सुधारणा करून ते अधिक आकर्षक करण्यास मदत केली. श्री कोलेगाला शर्मा ह्यांनी ह्या खंडाचे संपादक म्हणून अत्यंत उत्साहाने सहभाग घेतल्याबद्दल त्यांचाही आभारी आहे. पी. आय. डी. च्या कला विभागाचे श्री प्रदीप बॅनर्जी व त्यांचे सहकारी ह्यांनी माझ्या कांही कल्पनांना रेखाटण्या द्वारे दृश्य स्वरूपांत सादर करण्यासाठी केलेल्या परिश्रमा बद्दल मी त्यांचा अत्यंत ऋणी आहे. माझे निर्मित आणि छपाई विभागातील असंख्य सहकारी, ज्यांच्या सहकार्याशिवाय पुस्तकास सुंदर स्वरूप लाभणे शक्य नव्हते, त्या सर्वांचे मी मनःपूर्वक आभार मानतो.

अनुक्रमणिका

१) जुनेच नव्या स्वरूपात	१
२) अग्निदिव्य	१०
३) चाकाची भ्रमंती	२३
४) सिरॅमिक्सला चिवट करण्याची रीत	३३
५) विविध विद्युत गुणधर्मांचे सिरॅमिक्स	४९
६) नवा अतिसंवाहक	६२
७) अस्थिची सहाय्यता	७१
८) स्पष्टीकरण संज्ञा	७९

जुनेच नव्या स्वरूपांत



कधी कधी तुमच्या मनांत इच्छा निर्माण होत असतील कीं सुच्या

कात्र्यांना धार लावण्याची गरजच पडली नाही तर ? आणि मजेची गोष्ट म्हणजे अगदी तुमच्या मनातल्या प्रमाणेच एका जपानी कंपनीने अशा सुच्या, कात्र्या बनवून बाजारांत आणलेल्या आहेत. त्यांना क्वचितच धार लावण्याची पाळी येते. त्या कधी गंजत नाहीत आणि अगदी तीव्र आम्लांमुळे सुद्धा त्यांना भोंके पडत नाहीत. एवढेच नव्हे ज्या तापमानांस बहुसंख्य धातू वितळतात त्या तापमानांस नेऊन देखील त्यांच्यावर कांहींही परिणाम होत नाही. अशा अद्भूत सुरीचे पाते मात्र खूपच कठीण असते. त्यांनी धातूवर ओरखडा सुद्धा काढता येतो. आहे नं विलक्षण गोष्ट ?

तुम्हाला वाटत असेल कीं अद्वितीय गुणधर्मांच्या नवीन पदार्थांची मालिका निर्माण झाली काय? पण तसे काही नाही. अशा सुच्या, कात्र्यांची पाती झर्कोनिया किंवा झर्कोनियम डायॉक्साईड पासून बनविलेली आहेत. हा पदार्थ सिरॅमिक्स म्हणून ओळखल्या जाणाऱ्या पदार्थांच्या वर्गात मोडतो.

प्राचीन तंत्रज्ञान :

सिरॅमिक्सच्या वस्तू ही तशी नवीन गोष्ट नाही. आपल्या पूर्वजांनी हजारो वर्षांपूर्वीच त्यांचा शोध लावला होता. 'सिरॅमिक्स' हा शब्द ग्रीक भाषेतील 'केरॅमॉस' म्हणजे भाजलेली माती ह्या नावावरून बनलेला आहे. ह्या नांवावरूनच लक्षांत येते कीं पूर्वीच्या काळी घराघरांत वापरांत येणारी माठ, मडकी, चहापानाची भांडी, विटा, ह्या मध्यें मुख्यतः चिकण मातीच्या मिश्रणाला भाजून बनविलेल्या वस्तूंचाच भरणा होता. नव्या

युगात मात्र सिरॅमिक्स हे मातीच्या वस्तुपुरते सीमित नाही. तथापि त्यांच्या निर्मितीत साध्या मातीबरोबरच खूप महागड्या आणि शुद्ध स्वरूपातील भुकटींचा-पावडरींचा उपयोग करतात.

सिरॅमिक्स हा शब्द उच्चारताच कप बशा, वॉश बेसीन, अंघोळीचा टब अशाच वस्तू डोळ्यासमोर येतात. तथापि सिरॅमिक्स मध्ये घरगुती वापरांत येणाऱ्या वस्तूंपासून आधुनिक उद्योगात वापरल्या जाणाऱ्या कित्येक वस्तूंचा समावेश होतो. टेलिव्हिजन, दृक्श्राव्य मुद्रिका आदि उपकरणे, मोटारी सारखी स्वयंचलित वाहने. दूर संदेश वहन यंत्रणा आणि अवकाशयाना सारख्या साहित्यांत सिरॅमिक्सचा महत्वाचा घटक म्हणून अंतर्भाव असतो. मग सिरॅमिक्स म्हणजे नक्की काय? तांत्रिक दृष्ट्या सिरॅमिक्सची व्याख्या ज्यांचे उत्पादन निव्वळ धातू किंवा प्लास्टीक सारख्या सेंद्रिय पदार्थांपासून न होता ज्यांना प्रथम आकार देता येतो व मग उष्णतेच्या सहाय्याने काठिण्य आणता येते असे असेंद्रिय पदार्थ - अशी करता येईल.

अशा तऱ्हेने सर्व सिरॅमिक्स हे असेंद्रिय पदार्थांचेच बनलेले असले तरी निव्वळ धातू नसून धातू व अधातू ह्यांच्या संयुक्तिकरणाने बनविलेले असतात. सर्वसाधारणतः ऑक्सीजन ह्या अधातूचा त्यांत सहभाग असतो. उदाहरणार्थ, सर्वसामान्य सिरॅमिक्स म्हणजे मातीची भांडी, विटा, चहापानाचे साहित्य हे मुख्यतः सिलिकेट ह्या सिलिकॉन, ऑक्सीजन व आणखी काहीं धातूंच्या संयुक्तांपासून बनते. कांहीं वेळा सिमेंट व कांचेचा सिरॅमिक्स म्हणूनच उल्लेख केलेला आढळतो पण ते योग्य नव्हे. कारण सिरॅमिक्सच्या वस्तूंना प्रथम आकार देतात व मग उष्णता देऊन काठिण्य आणतात पण सिमेंट व कांचेला प्रथम उष्णता देऊन नंतर आकार असा उलटा प्रकार असतो.

पदार्थांचे त्रिकुट :

सिरॅमिक्स, धातू व प्लास्टीक असे पदार्थांचे तीन ढोबळ वर्गीकरण करता येईल. सिरॅमिक्स अर्थातच सर्वात पहिला मानव निर्मित पदार्थ असून धातूचा शोध लागण्यापूर्वीच त्याचा वापर सुरू झाला होता. पुरातत्व संशोधनावरून ब्रॉझ व लोखंडाचा वापर सिरॅमिक्सच्या नंतर खूप उशीराने सुरू झाल्याचे आढळते. कितीतरी काळ सिरॅमिक्स व धातू ह्यांनी एकत्रितपणे मानवी विभिन्न गरजा पूर्ण केल्या. अर्थात सिरॅमिक्सचा उल्लेख मानवाच्या भटकी जीवन पद्धती सोडून एका जागी स्थिर होण्याच्या काळाचा निर्देशक म्हणून केला जातो. कारण बहुसंख्य घरगुती वापराच्या वस्तूमध्ये त्यांचा समावेश अपरिहार्य आहे. ह्या शतकाच्या पूर्वार्धात मात्र ह्या दोघांना आव्हान



अवकाश युगाकडे दौड

देणारा प्लास्टीक हा तिसरा पदार्थ उदयास आला. हा देखील मानव निर्मितच पदार्थ होता. व त्याने बघता बघता घरातील वापराच्या सर्व सिरॅमिक्स व धातुपात्रांची जागा व्यापली कांहीं विशेष गुणधर्मचें आकलन अलिकडच्या संशोधनात झाल्याने सिरॅमिक्सला पुन्हां पूर्वीचे महत्त्वाचे स्थान प्राप्त होत आहे. आताच्या अवकाशयुगांत सिरॅमिक्सला सर्वाधिक प्राधान्य दिले जात आहे.

एखाद्या पदार्थाची उपयुक्तता त्याच्या भौतिक व रासायनिक गुणधर्मावर तसेंच त्याला किती सुलभतेने वेगवेगळे आकार देता येतात त्यावर अवलंबून असते. भौतिक गुणधर्मांमध्ये विद्युत व उष्णता वाहण्याची क्षमता ह्या सर्वात महत्त्वाच्या आहेत. शिवाय पदार्थाचे गुणधर्म त्यातील घटक अणूंच्या रचनेवर व ते एकमेकांशी कशा तऱ्हेने संलग्न झाले आहेत त्यावर ही अवलंबून असतात. धातूंचे गुणधर्म सिरॅमिक्स किंवा प्लास्टिकपेक्षा अधिक सखोलपणे अभ्यासले गेले आहेत कारण त्यांत फक्त एकच मूलद्रव्य असते. उलट सिरॅमिक्स व प्लास्टिक हे अधिक मूलद्रव्यांचे बनलेले असते.

धातू हे उष्णता व विद्युत ह्या बाबत सारख्या चांगल्या प्रकारचे सुसंवाहक असतात तर सिरॅमिक्स व प्लास्टिक हे दोन्ही गोष्टींचे मंद वाहक आहेत. बहुसंख्य रसायनांचा सिरॅमिक्सवर कांहींही परिणाम होत नाही पण धातू व प्लास्टिकवर मात्र त्यांचा तीव्रतेने परिणाम होतो. तापमानाबाबत विचार केला तर प्लास्टीक हे अत्यंत कमी तापमानास वितळतात, धातूंचे विलय बिंदू त्या मानाने उच्च असतात. सिरॅमिक्सच्या पदार्थांचे विलयबिंदू खूपच उच्च तापमानांस असल्याने ते बहुसंख्य धातूंच्या विलय बिंदू पर्यंतच्या तापमानांस स्थिर राहू शकतात. धातूंची सुलभतेने तार बनविता येते, कुटून, ठोकून त्यांचे पातळ पत्र्यांत रूपांतर करता येते, पण ह्या पैकी कांहींही सिरॅमिक्स बाबत शक्य होत नाही. सिरॅमिक्समध्ये धातू व प्लास्टिक पेक्षा खूप जास्त कठीणपणा असला तरी तेवढाच जास्त ठिसूळपणाही असतो. त्यामुळे सिरॅमिक्सच्या सुरीने धातूवर ओरखडा काढता येत असला तरी जोराचा तडाखा बसला अथवा सुरी आपटली तर तिचे तुकडे तुकडे होतात.

सिरॅमिक्सचे वैविध्य :

सिरॅमिक्सची गुणवैशिष्ट्ये म्हणजे काठिण्य, उच्चतापमानास टिकाव धरणे, पाणी व हवेतील ऑक्सीजन तसेंच वेगवेगळी रसायने ह्यांचे क्षारक परिणाम न होणे ही होय. पूर्वजांनी सिरॅमिक्स मधील गुणधर्मांचा उपयोग घरगुती वापरासाठीची भांडी व वस्तू बनविण्यासाठी केला आणि आपले जीवनमान उंचावले. ह्या गुणधर्मांच्या

बरोबरीने विपुलतेने उपलब्धता असलेला पदार्थ म्हणजे चिकणमाती . ह्या मातीला सुलभतेने पाहिजे तसा आकार देता येत असल्याने पाणी, दूध, धान्य साठवण्याच्या कणगी व स्वयंपाक घरातील विविध वस्तू चिकणमातीपासून बनविल्या गेल्या. विटांची निर्मिती करणे जमल्यानंतर त्याचेच पुढे कौले, फरशा अशी रूपांतरेही झाली त्याच प्रमाणे सुस्वच्छता पात्रे, लहान मोठे नळ, उतापसह, अग्नीविरोधक लेप बनविण्यासाठीही सिरॅमिक्स उपयोगी येऊ लागले.



सिरॅमिक्सच्या अपघर्षक चक्राने सुरीला धार

दरम्यानच्या काळात विद्युत व चुंबकीय ह्या आवश्यक गुणधर्म बाळगणाऱ्या कांहीं नव्या सिरॅमिक्सच्या पदार्थांचा शोध लागला. हे विशिष्ट गुणधर्म त्यांच्यातील अणूंच्या संरचनेमुळेच शक्य झाले अशा सिरॅमिक्सच्या पदार्थांना प्रगत सिरॅमिक्स किंवा उच्च कार्यमान सिरॅमिक्स असे म्हटले जाऊ लागले. ह्या मध्ये सर्व साधारण सिरॅमिक्स मध्ये वापरत असलेल्या चिकणमातीच्या मिश्रणा ऐवजी शुद्ध पदार्थांच्या भुकटीचा वापर केला जातो. त्यांच्यामुळे आवश्यक तशी अणूसंरचना करता येऊन परिणामी जरूर तसे गुणधर्म मिळविणे शक्य होत असते.

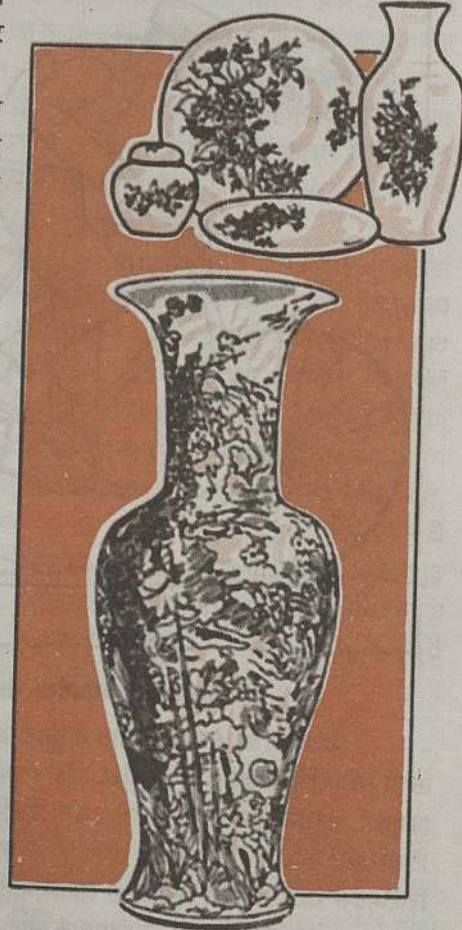
उपयुक्ततेनुसार सिरॅमिक्सचे अपघर्षक; (abrasive) चहापानाची उपकरणे,

विद्युत उपकरणे, रासायनिक पोर्सेलिन, इलेक्ट्रॉनिक पदार्थ, चुंबकीय पदार्थ, उत्पासह, जीव वैद्यकीय सिरॅमिक्स असे वर्गीकरण करतात.

सिरॅमिक्स खूप कठीण असल्याने एकमेकांवर घासून देखील झिजत नाहीत व कांहीं पदार्थ तर इतके कठीण असतात की त्यांचा वापर इतर पदार्थांना खरवडण्यासाठीच करतात. उदाहरणार्थ, अॅल्युमिनियम ऑक्साईड व सिलिकॉन कार्बाईड, हे सहजतेने धातूंनाही कापू शकत असल्याने त्यांचा कर्तक हत्यारे, शाणन, घास काम व खरवडून गुळगुळीत पृष्ठभाग करण्यासाठी औद्योगिक क्षेत्रांत वापर करतात.

क्षारक रसायनांच्या संपर्कात आल्याने ज्या पदार्थांवर तीव्र परिणाम होतात अशा पदार्थांच्या साठवणी करिता सिरॅमिक्सचा वापर करतात. कारण क्षारक रसायनांचा सिरॅमिक्सवर बिलकुल परिणाम होत नाही. रासायनिक पोर्सेलिन नावाने ओळखल्या जाणाऱ्या सिरॅमिक्सचा उपयोग आम्ल रक्षक पात्रे, प्रयोगशाळा तसेच प्रक्रीया करणाऱ्या कारखान्यांमध्ये केला जातो. चहापान विंगवा जेवणाच्या टेबलावरील नित्योपयोगी वस्तू ह्या अर्थातच चिरपरिचित असून चहादाणी, थाळ्या कपबश्या व इतर साहित्य त्यांत येते. आम्ल, क्षार व उष्णता विरोध तसेच द्रव पदार्थ न झिरपण्याच्या सिरॅमिक्सचा वापर ह्या भांड्यांसाठी करतात.

सिरॅमिक्स हे बहुधा विद्युत्, वाहक नसतात. व म्हणून त्यांचा विद्युत् विरोधक बनविण्यासाठी दीर्घकाळ वापर केला जातो. उच्चदाब विरोधकांचा वापर

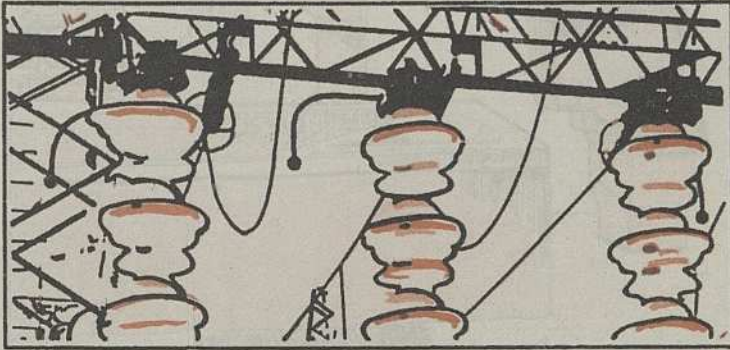


सिरॅमिक्सची फुलदाणी व क्रोकरीच्या वस्तू
(वरच्या बाजूस)

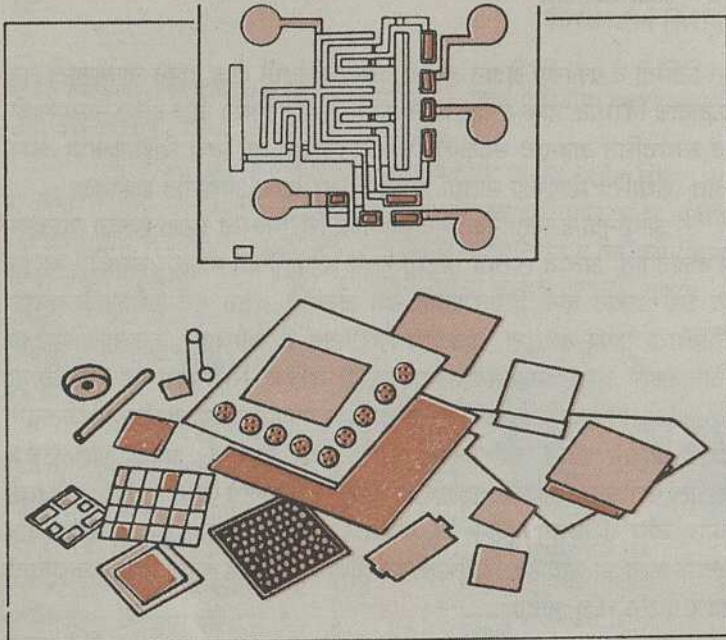
विद्युत निर्मिती व प्रसारण क्षेत्रांत हजारो वर्चस व्होल्टची वीज वाहून नेण्यासाठी तर कमी दाबाचे विरोधक डाक व तार खाते ह्यांना कमी वर्चसची वीज वाहून नेण्यासाठी तसेच स्वयंचलित वाहनांचे स्पर्कप्लग दूरदर्शनचे संच ह्या मध्ये सिरॅमिक्सचा वापर करतात. संधारित्र म्हणूनही मोठ्या प्रमाणांत सिरॅमिक्स उपयोगांत आणतात.

आधुनिक इलेक्ट्रॉनिक उपकरणांमध्ये सिरॅमिक्सचे घटक अत्यंत महत्वाचे काम बजावतात. अत्यंत छोट्या छोट्या सूक्ष्म इलेक्ट्रॉनिक मंडळात संधारित्र म्हणून तसेच जेथे अत्यंत कमी विद्युत प्रवाह नेणे जरूरीचे असते तेथे अर्धवाहक म्हणून सिरॅमिक्सचा वापर करतात. चुंबकीय सिरॅमिक्स हे कॉम्प्युटर, दृक्श्राव्य मुद्रिका बनविण्यासाठी अत्यंत महत्वाचे आहेत. कांहीं विशिष्ट सिरॅमिक्स मध्ये दाबविद्युत (piezoelectric) गुणधर्म असल्याने दूर संदेश वहन यंत्रणेत रेडिओ लहरींच्या संकेताद्वारे निरोपांचे आदान प्रदान करण्यासाठी ब्यांचा वापर करतात. अगदी अलिकडच्या काळांतील संशोधनांत असेही आढळले की कांहीं सिरॅमिक्सचे पदार्थ विजेच्या प्रवाहाचा तिळमात्र व्यय न करता वाहून नेऊ शकतात. त्यांना तांत्रिक दृष्ट्या खूपच वाव असल्याने अशा अतिसंवाहक सिरॅमिक्स पदार्थांचा शोध घेऊन त्यांचा विकास करण्याचे जोरदार प्रयत्न चालू आहेत.

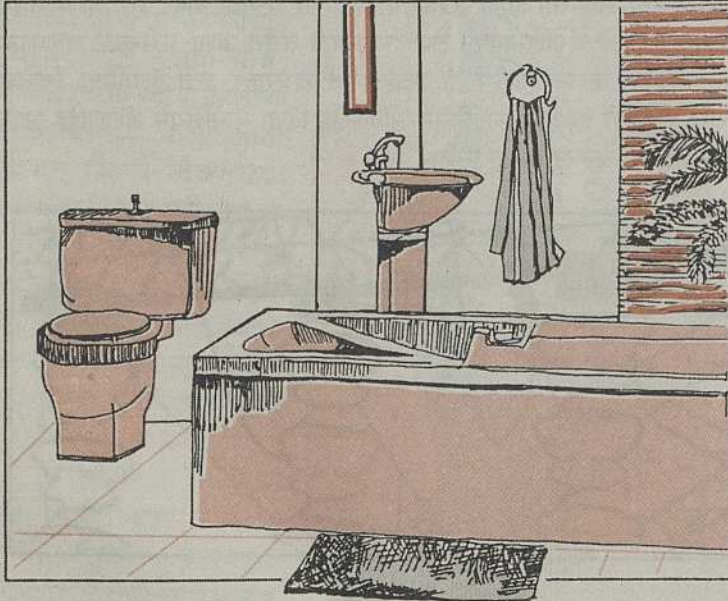
ज्या तापमानांस बहुसंख्य धातू वितळतात. अशा तापमानांस टिकणाऱ्या सिरॅमिक्सना उतापसह किंवा रिफ्रॅक्टरी म्हणतात. त्यांचा वापर उच्च तापमानाच्या भट्ट्यांच्या आतील पृष्ठभागांना लेप देण्यासाठी तसेच अशा भट्टीसाठी लागणाऱ्या विटा व फरशा करण्यासाठी होतो. उदाहरणार्थ फायरक्ले, उच्च अॅल्युमिना, सिलिका तसेच ज्यामध्ये कार्बन, झर्कोनियम ऑक्साईड किंवा मॅग्नेशियम ऑक्साईड आहेत अशा विटांचा उल्लेख करता येईल.



विद्युत संचारण व्यवस्थेत सिरॅमिक्सचे विद्युत विरोधक



इलेक्ट्रॉनिक चिपसाठी आधारभूत सिरॅमिक्स व इलेक्ट्रॉनिक मंडळ (आतील चौकटीत)



सिरॅमिक्सची सुस्वच्छता पात्रे

जीव वैद्यकीय सिरॅमिक्स हे ज्या संयुगामध्ये अधिक शक्ती व जैव अनुरूपता असते अशा पदार्थापासून बनविलेले असते. मानवी शरीरांतर्गत नाजूक वातावरणाला किंवा विविध जीव रसायनांना ते बाधक नसतात. त्यांचा वापर कृत्रिम दांत, कृत्रिम कोपर, अथवा श्रोणिसंधी किंवा अगदी कवटीचे कवच म्हणून देखील होऊ शकतो.

विटा, फरशा, सुस्वच्छता पात्रे ज्यामध्ये आंघोळीचा टब, कुंड, स्नानगृहातील वस्तू ह्यांचा अंतर्भाव असतो अशी संरचित सिरॅमिक्सची प्रामुख्याने उदाहरणे आहेत. सध्याच्या अवकाश युगामध्ये संरचित सिरॅमिक्सला विकासासाठी मोठा वाव आहे. कमी काठिण्य, उष्णता व झीज प्रतिबंधक म्हणूनही अत्यंत उपयुक्त असे गुणधर्म असणाऱ्या सिरॅमिक्सचा प्रगत सिरॅमिक्स नांवाने शास्त्रज्ञांनी विकास केला आहे. अशा संरचित सिरॅमिक्सचा अग्नीरोधक कवच म्हणून या पूर्वीच्या अतिवेगवान अवकाश यानांत वापर सुरू केल्यामुळेच अपोलो, सेल्युत ही अवकाशयाने अवकाशातून पृथ्वीवर परत येतांना जळून राख होण्यापासून बचावली. प्रगत सिरॅमिक्सचा वापर सेनादलातील चिलखती वाहने, डिझेलवर चालणाऱ्या स्वयंचलित मोटारींचे इंजिन, सुऱ्या, कात्र्या, बॉलपेन ह्या सारख्या वस्तू बनविण्यासाठी महत्वाचा ठरतो. संरचित सिरॅमिक्सचा आणखी एक महत्वाचा उपयोग म्हणजे वीज निर्मिती साठीची उच्चतापमानाची वरिर्वर्ते तसेच विमाने ह्यासाठी सिलिकॉन कार्बाईड, सिलिकॉन नाइट्राईड व झर्कोनियम डायॉक्साईड ह्या पदार्थांचा समावेश होतो.





अग्निदिव्य

मानव व पदार्थ ह्यांचे साहचर्य अनेक युगांचे आहे. मानवांपैकी प्रतिभा संपन्न लोकांनी नैसर्गिकरित्या पृथ्वीच्या पाठीवरील उपलब्ध पदार्थांचा वापर केला व आपल्या वंशजांच्या समृद्ध जीवनाला आकार दिला. मानव निर्मित वस्तू मध्ये 'सिरॅमिक्स' हा पहिला शोध आहे. सखोल निरीक्षणाने व विचारपूर्वक आपल्या पूर्वजांनी चिकणमाती पासून उपयुक्त वस्तूंची निर्मिती केली. सिरॅमिक्स हे मानव निर्मित सर्वात जुने तंत्रज्ञान म्हणता येईल.

अस्पष्ट पाऊल खुणा :

सिरॅमिक्सची कला किती पुरातन आहे हे कुणालाच ठाऊक नाही, किंवा त्याचा नक्की असा मागोवा घेता येत नाही. असं म्हणतात की कांही जपानी खेडूतांनी सुमारे १३ हजार वर्षापूर्वी मातीची भांडी बनविली कोणी म्हणतात अफ्रिका हे सिरॅमिक्सचे जन्मस्थान आहे. कारण केनियातील गॅबलच्या गुहांमध्ये आढळलेल्या माकणीच्या खुणा असणारे सिरॅमिक्सच्या भांड्यांचे जे तुकडे आढळले ते १० ते १५ हजार वर्षापूर्वीचे असावेत. ह्या उलट तुर्कस्थान मधील कॅटल ह्युक ह्या ठिकाणी उत्खननांत मिळालेल्या विविध प्रकारच्या सुबक मृत्पात्रांचे वय अंदाजे ९ हजार वर्षे असावे.

भारतातही सिरॅमिक्सची कला खूप पूर्वी अवगत होती. हडप्पा संस्कृतीच्या (इ. स. पूर्व २५०० ते इ. स. पूर्व १५००) उत्खननांत कितीतरी गृहोपयोगी वस्तू बरोबरच सिरॅमिक्सचे दागिने, खेळणी इत्यादि वस्तू बनविण्यांत त्याकाळचे लोक



हडप्पा संस्कृती कालीन सिरॅमिक्सचा कंठहार, मणी व सच्छिद्र तापक भांडे

वाकबगार असल्याचे आढळते. हडप्पा येथील उत्खननांत आढळलेल्या वस्तूंमध्ये साठवणीचे मोठे रांजण, दोरीच्या सहाय्याने टांगून ठेवता यावे ह्यासाठी छिद्रांची सोय असणारे उतरंडीचे घट, जाळीच्या भिंती असणाऱ्या दंडगोलाकार चुली, धान्य मोजण्याची मापे, उंदराचे सापळे, फाशाची खेळणी, मणी, कंठहारासारखे दागिने कानातल्या कुड्या, बांगड्या, अंगठ्या, बटणे, ताईत इत्यादी होते.

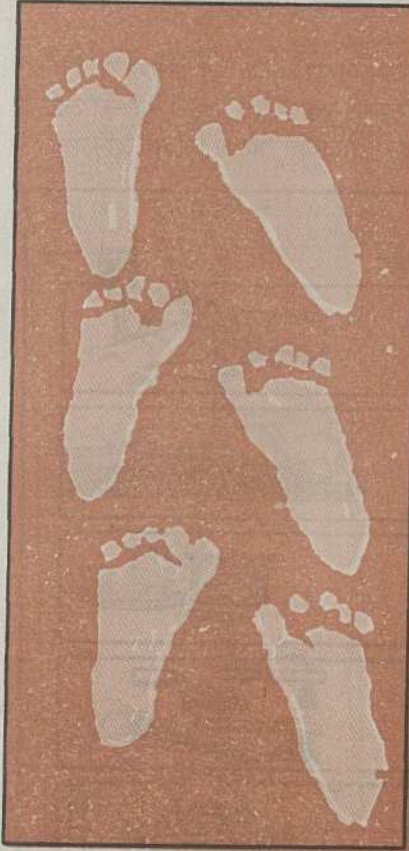
सर्वात पहिले तंत्रज्ञान कसे अवगत झाले असावे ? अर्थात त्यामध्ये कांहीं सामुदायिक गरजा किंवा मागणी प्रमाणे पुरवठा करण्याच्या योजना आढळत नाहीत, केवळ योगायोगानेच आपल्या पूर्वजांना ह्याचा शोध लागला. तथापि अग्नीचा वापर हा निश्चितच तंत्रज्ञानातील मुख्य आधार होता.

अग्नी हा मानवाचा सर्वात पुराणा दोस्त आहे. त्याने मानवाला केवळ कडाक्याच्या थंडीत ऊबदारपणा दिलेला नसून जंगली जनावरांच्या कच्च्या मासांचे रुचकर अन्नांत रूपांतर करण्यासही मदत केली. पूर्वीच्या काळांत गृहोपयोगी वस्तूंमध्ये



दगडी चुलीचे भोंक चिखलाने बुजविणारा आदिमानव

दगडाच्या गोलाकार चुली ह्या महत्वाच्या होत्या. ह्याच काळांत कोणा मातब्बर घर मालकाने एखादे दिवशी जवळपासच्या तलावा काठचा चिखल चुलीच्या भोवतीची भोंके बुजविण्यासाठी वापरला. अशी चूल अनेक आठवडे प्रज्वलित राहिल्यामुळे त्या चिखलाचे भाजून निघाल्याने न विरघळणाऱ्या किंवा विघटन न होणाऱ्या दगडासारख्या कठिण पदार्थात रूपांतर झाले. हा दैवयोगाने लागलेला शोध मातीला भाजून तिच्या पासून भांडी बनविण्याच्या कलेचा महत्वाचा टप्पा होता. ओल्या मातीला वेगवेगळे



चिखलातील पावलांचे ठसे

ह्या वरूनच त्याला आजकालची लहानगी मुले खेळतात तशी मातीला कलापूर्ण आकार देण्याची कल्पना स्फुरली व हे आकार ती भांडी सुकल्यावर ही टिकतात हे दिसले.

आकार देता येतांत हे देखील आपल्या पूर्वजांना माहित असावे. ऋयाने ह्या दोन गोष्टी एकत्रित केल्या तो खरोखरच सर्वांत पहिला तंत्रज्ञ होता

कांहीं लोकांच्या मते सिरॅमिक्सच्या तंत्रज्ञानाचा शोध वेगळ्या रीतिने लागला. गवताच्या टोपल्यातून पाणी झिरपू नये म्हणून पूर्वीचे लोक त्यांना मातीचे लिंपण करीत. अशीच लिंपलेली एक टोपली एक दिवशी चुकून अग्नीत पडली. कांहीं दिवसांनी अग्नी शांत झाल्यावर ओल्या मातीच्या थरांचे दगडांत रूपांतर झाल्याचे आढळले. आणि भाजक्या मातीच्या ह्या विशिष्ट गुणधर्माचे ज्ञान मानवाला झाले.

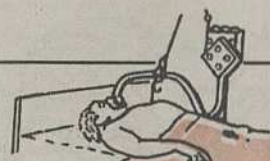


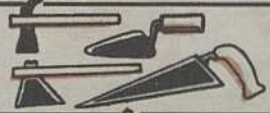

आणखी एका पटकथाकाराच्या म्हणण्यानुसार ओल्या मातीला आकार देता येतो व नंतर भाजल्यावर ती दगडाप्रमाणे घट्ट होते. ह्याचा शोध लागल्यावर एका निरीक्षक सहकाऱ्याला पावसाळ्यांच्या दिवसांत ओल्या मातीत-चिखलांत उमटलेले आपल्याच पावलांचे ठसे बराच काळ टिकून राहिल्याचे लक्षांत आले.

त्यांचा नाश करण्यासाठी किंवा गमतीखातर ही भांडी अग्नीमध्ये टाकल्यानंतर पूर्वी दिलेला आकार टिकवून त्या शिवाय ती दगडाप्रमाणे कठीण झाल्याचे पूर्वजांच्या लक्षांत आले असावे.

कांहीही असो, मातीची पात्रे बनविण्याच्या कलेचा उगम चिकण मातीच्या दोन महत्वाच्या गुणधर्मांवर अवलंबून आहे. एक म्हणजे माती ओली असतां सांच्याद्वारे तिला आकार देता येतो व अग्नीच्या संपर्काने दगडाप्रमाणे काठिण्य देता येते.

कच्चा माल :

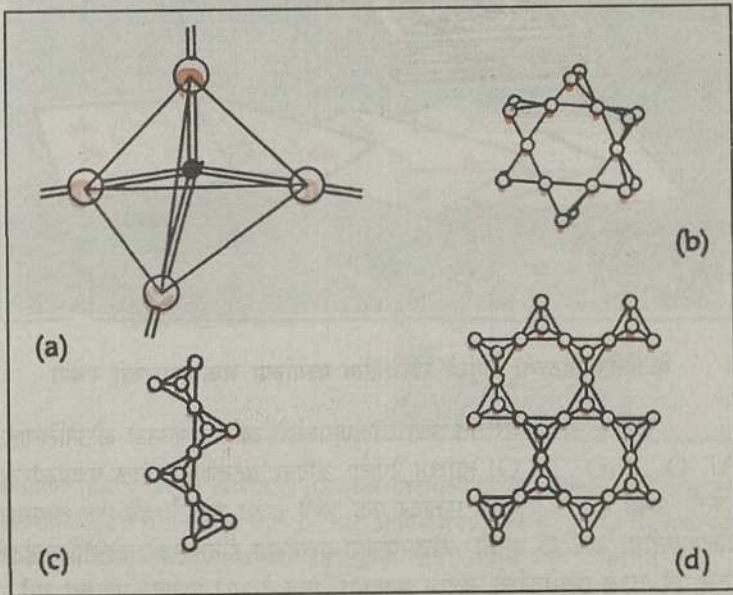
पृथ्वीच्या सर्वांत बाहेरच्या पृष्ठभागाच्या पातळ थर असणाऱ्या माती व चिकणमातीत गल्लत करणे योग्य नव्हे ज्याला नुसते माती म्हणून संबोधले जाते ती वाळू, चिकणमाती कुजलेल्या वनस्पतीजन्य पदार्थांचे खत व विविध खनिजांचे

तत्व	संकेत	स्कृण टक्केवारी	
ऑक्सीजन	O	४६.६	
सिलिकॉन	Si	२७.७	
स्लॅयुमिनियम	Al	८.९	
आयरन	Fe	५.०	
कॅल्शियम	Ca	३.६	

पृथ्वीवर सर्वाधिक प्रमाणात मिळणारी पांच मूलद्रव्ये

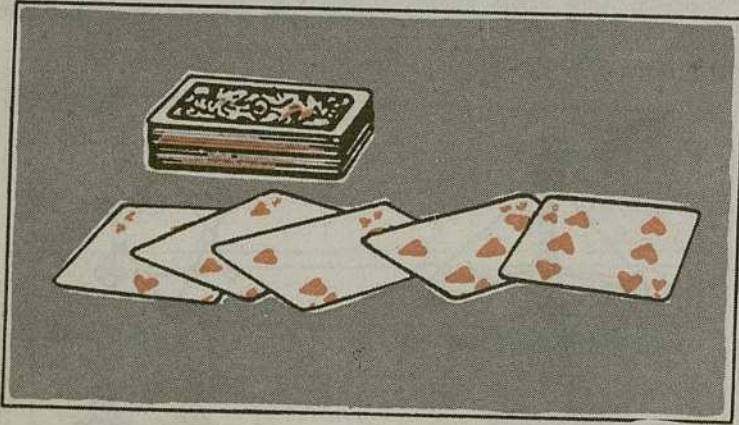
मिश्रण असते. ह्या सर्वात वरच्या मातीच्या आवरणाखाली व खूप खोल असणाऱ्या ग्रनाईट दगडांच्या थरा मधल्या भागांत चिकणमातीचा थर थोड्या फार वाळू व इतर खनिजांसह आढळतो. पाऊस, वारा, थंडी व उष्णता ह्यांचा दीर्घकालीन परिणाम होऊन ग्रनाईट सारख्या दगडांचे झालेले विघटन किंवा अपक्षीय विदारण म्हणजे चिकणमाती. चिकणमाती हे एकमेव वस्तुमान नव्हे. सर्वसाधारण चिकणमाती ही वेगवेगळ्या खनिजांचे मिश्रण असून त्यांना केओलिनाईट, हॅलोसाईट, मॉॅटमॉरिलोनाईट अशी सुशोभित नावे देण्यांत आलेली आहे.

बव्हंशाने ही सारी सजल अॅल्युमिनियम सिलिकेट आहेत. सजल अशा अॅल्युमिनियम, ऑक्सीजन व अन्य सिलिकॉन ह्यांची संयुगे असतात. सिलिकॉन व ऑक्सीजन ही पृथ्वीवरील सर्वाधिक विपुल मूलद्रव्ये व त्यांना एकमेकांबाबत खूप ओढ आहे. त्यांची अॅल्युमिनियम बरोबरची संयुगे ही चिकण मातीची एकांक आहेत. चिकणमातीच्या गुणधर्मावर त्यांचा मोठा परिणाम होत असल्याने ह्या बाबत सखोल माहिती असणे आवश्यक आहे.



(अ) सिलिकेटचा चतुष्कोणीय एकांक आणि नैसर्गिक खनिज सिलिकेटच्या काही वेगवेगळ्या रचनेतील एकांक (ब) सिलिकेटचे कडे (क) सिलिकेटची साखळी (ड) सिलिकेटचे सपाट पत्रे

सिलिकेटच्या एककांमध्ये सिलिकॉन (Si) अणू चारी बाजूच्या ऑक्सीजन (O) बरोबर चतुःपृष्ठीय रीतीने गुंफलेला असतो. अशा अनेक चतुःपृष्ठाकांची एक, दोन किंवा तीन कोपऱ्यांशी सामायिक संलग्नत्व असते. व वेगवेगळी अशी सांखळी कडे किंवा संलग्न फलकांच्या रूपांत सिलिकेटची बांधणी होते. सिलिकेटच्या खनिजांमध्ये अॅल्युमिनियमचे मूलद्रव्य सिलिकॉनच्या जागी कांहीं ठिकाणी येऊन अॅल्युमिनो सिलिकेट ह्या संयुगाच्या जाळ्यांची निर्मिती होते. लोखंड, क्रोमियम ही मूलद्रव्येही कधी कधी सिलिकॉनच्या बदली असतात. अशा तऱ्हेने विविध प्रकारची चिकणमातीची खनिजे निर्माण होतात. ही सर्व जरी अॅल्युमिनो सिलिकेट नांवाचीच खनिजे असली तरी सिलिकेटच्या एकाकाची रचना, त्यातील धातूंच्या आयनांचे स्वरूप व परिणामी सिलिकेटची गणसंख्या ही वेगवेगळी असतात.



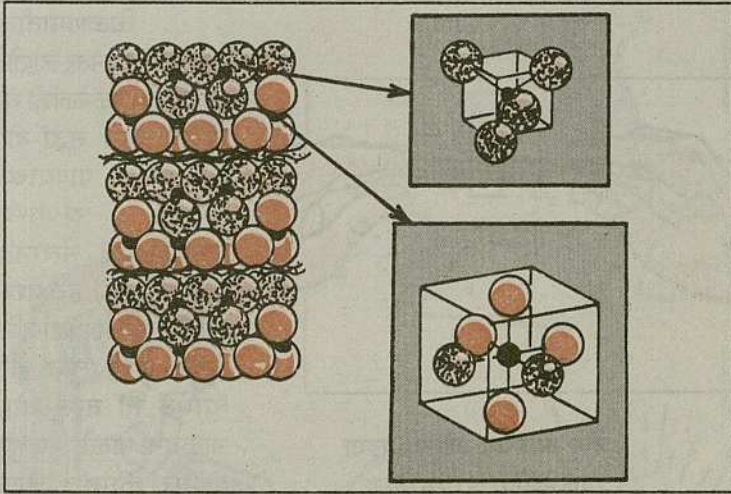
केओलिनाईटच्या रेणूंची खेळातील पत्त्यांच्या चकतीसारखी रचना

सर्वात जास्त परिचित असे चिकणमातीचे खनिज म्हणजे कोओलिनाईट ($Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$) ह्यांच्या रेणूंचा आकार षटकोणी पातळ पत्र्यासारखा असतो. अशा हजारो पत्र्यांची एकावर एक अशी चळत लागली की एक लहानसा चिकणमातीचा स्फटिक बनतो. खेळण्याच्या पत्त्यांच्या डावाप्रमाणे कोओलिनाईटचे पातळ पत्रे केवळ एकमेकांशी संलग्न असतात. मात्र ते सारे पूर्णपणे एकरूप असे न झाल्याने थोडेसे झुकलेले राहतात. एक सहस्रांश मिलिमिटर पेक्षाही लहान असा केओलिनाईटचा स्फटिक असल्याने नुसत्या डोळ्यांना दिसत नाही. आपणांस डोळ्यांना दिसणारा चिकणमातीचा कण हा प्रत्यक्षांत शेकडो स्फटिकांनी संलग्न असतो.

जल संयोग :

चिकणमाती - अॅल्युमिनियम सिलिकेटच्या प्रत्येक थराबरोबर रासायनिक रित्या असे पाणी सहभागी असतेच, ह्या पैक्षांही अधिक म्हणजे चिकणमातीच्या वस्तुमानाच्या चौथ्या हिश्या इतके पाणी शोषून घेण्याची मातीची क्षमता असते. उदा. केओलिन मध्ये खूपसे पाणी त्याच्या पत्र्याच्या आकाराच्या थरांच्या दरम्यान साठवता येते. ह्यामुळे दोन थरांतील अंतर वाढून चिकणमाती फुगल्यासारखी वाटते. अत्यंत लहान लहान कणांच्या रूपांत असणाऱ्या बॅटोनाईट ह्या चिकणमातीच्या खनिजामध्ये सर्व पृष्ठभागांवर पाणी शोषता येत असल्याने ते जेलप्रमाणे फुगलेले दिसते.

ह्या शोषित पाण्याला 'पाण्याची आकार्यता' म्हणतात. आकार्यता हा एकमेव गूण असा आहे की ज्यामुळे चिकणमातीवर थोडासा दाब देऊन साच्याद्वारे तिला कोणताही आकार देता येतो व दाब काढून घेतल्यानंतरही हाच आकार न बदलता

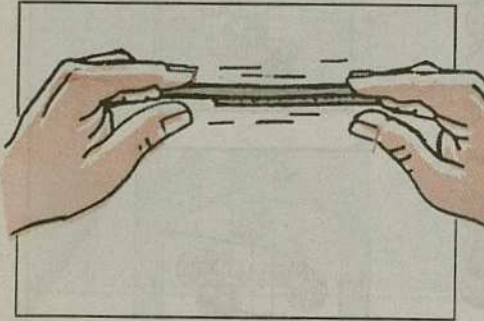


केओलिननाईटच्या रेणूंनी त्यांच्या दोन रेणूंच्या स्तरांमध्ये पाणी शोषून धरलेले असताना. केओलिननाईटचे दोन स्वतंत्र भाग :- चार ऑक्सिजनच्या अणूंनी वेष्टित सिलिकॉनचा अणू व दोन ऑक्सीजन व चार हैड्रॉक्झील गटांनी वेष्टित अॅल्युमिनियमचा अणू.

तशाच स्थिति राहतो, पाण्याच्या अनुपस्थितीत चिकणमातीचे चपटे कण त्यांच्या पृष्ठभागावर असलेल्या विद्युत भारांच्या आकर्षणामुळे ढिल्या स्वरूपांत एकमेकांशी संलग्न रहातात. पृष्ठभागांवरील विद्युत भारांच्या घर्षण विरोधामुळे हे चपटे कण एकमेकांवरून घसरून अलग होत नाहीत. चिकणमातीच्या बेशिस्त चकतीमध्ये पाणी घालताच ह्या चपट्या कणांमधील रिकामी जागा पाण्याचे रेणू व्यापतात व अलग न

होता चिकणमातीचे कण एकमेकांवरून घसरू शकतात. तावदानाच्या कांचेचे दोन तुकडे पाण्याच्या माध्यमामुळे एकमेकांना चिकटून सुद्धां एकमेकांवरून घसरून सरकू शकतात पण तुम्ही त्यांना अलग मात्र करू शकत नाही. थोडक्यात म्हणजे पाणी हे वंगणासारखे माध्यम म्हणून वावरते. त्याच प्रमाणे दोन शेजारील कणांना पाण्याचा पातळ थर डिकाप्रमाणे चिकटून त्यांचे सपाट पृष्ठभाग एकमेकांना धरून ठेवण्यास मदत करतात. ह्यामुळेच चिकणमाती चिकट व मजबूत बनते. अशा तऱ्हेने ओल्या चिकण, मातीला घनपदार्थाची मजबूती व द्रवाचा प्रवाहीपणा ह्या दोन्हीचा लाभ होतो. जलाच्या उपस्थितिमुळे चिकणमातीच्या प्रत्येक स्वतंत्र कणांमध्ये एकमेकांशी संलग्न राहून देखील एकमेकांवरून सरकण्याची क्षमता म्हणजे आकार्यता असते. त्यामुळे चिकणमातीवर दाब देऊन खंडीत न होता ती साच्याचा आकार धारण करते व अखेरीस सुकल्यावर आकार्यता जल जेव्हां निघून जाते तेव्हांही हा आकार कायमचा टिकवून धरते. सिरॅमिक उद्योगाचा पाया पाण्याच्या आकार्यतेचा हा गुणधर्म हाच आहे.

चिकणमातीला



दोन कांचेच्या ओल्या पट्ट्या
एकमेकींवरून घसरताना

आकार दिल्या नंतर त्यातील प्रत्येक कण एकमेकांशी थेट संलग्न नसून सुद्धां दोन कणांमधील पाण्याच्या थरामुळे येणाऱ्या पृष्ठताणामुळे संलग्नता रहाते. हवेमध्ये सुकविल्यावर ह्या थरांमधील खूपसे पाणी लुप्त होते. त्यामुळे ती वस्तू थोडी आकुंचन पावते. म्हणून तुंबार कामांत जलद

आकुंचन व त्यामुळे तडे जाणे हे टाळण्यासाठी चिकणमातीच्या वस्तू नियंत्रित रित्या सुकवाव्या लागतात. चिकणमातीचे लहान कण त्यांच्या पृष्ठभागावरील विद्युत भारामुळे एकमेकांशी संलग्न असतात. ज्या प्रमाणांत हे कण लहान असतात त्याच्या व्यस्त प्रमाणांत पृष्ठीय परिणाम अधिकाधिक मोठे होतात. कारण चिकणमातीचा कण जसा लहान होतो तसे त्याच्या पृष्ठभागाचे क्षेत्रफळ वाढते. जसजसे कणांचे लहान लहान तुकडे करीत जाऊ तसतसे त्याचे एकूण क्षेत्रफळ वाढत जाते. व हे जवळ जवळ दर किलो ग्रॅमला पांच चौरस किलोमीटर इतके वाढते. व तिला 'ओली शक्ती' (Green

Strength) असे म्हणतात. हीच शक्ती सिरॅमिक्सच्या वस्तूचा आकार त्यांना भाजण्यापूर्वी टिकवून धरण्यास मदत करते.

अग्नी प्रदिप्त जीवन :

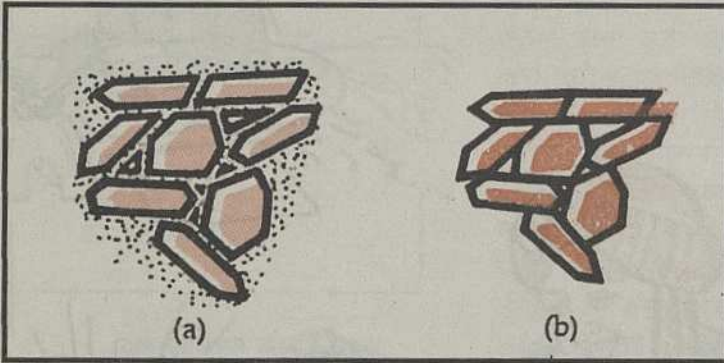
चिकण मातीचा प्रमुख गुणधर्म ज्याला 'सिरॅमिक स्थित्यंतर' म्हणतात तो चिकणमातीच्या सुकविलेल्या वस्तूला भाजून काढतांना प्रदर्शित होतो. सुकविलेल्या वस्तूला उष्णता देतांना तापमानाबरोबर अनेक प्रक्रिया घडतात. सर्वात पहिली म्हणजे वस्तूचे तापमान २० ° ते १२० ° सेल्सियस वाढेपर्यंत त्याच्या छिद्रातील असणारे पाणी निघून जाते. त्या स्थितिला 'धुरावाटे पाणी बाहेर काढणे' म्हणतात. ह्या नंतर २०० ° सेल्सियस तापमान होईपर्यंत मातीतील गवत, कचरा ह्या सारख्या सेंद्रिय



अग्नी शुद्धीकरणाने मूल्यवृद्धी

पदार्थाचे विघटन होते. ह्या नंतरच्या ६०० ° सेल्सियस तापमानांस वस्तूचा रंग लाल दिसे पर्यंतच्या पुढल्या टप्प्यांत मातीमध्ये महत्वाचे सिरॅमिक स्थित्यंतर घडते. केओलिनाईट च्या रेणूंमध्ये असणारे रासायनिक जल निघून जाऊन त्याच्या स्फटिकी रचनेत बदल होतो. केओलिन मधील पाणी शोषून घेण्याची क्षमता व आकार्यता शक्ती ह्या दोन्ही नाश पावतात व ह्या पूर्वीच्या पाण्याच्या सहाय्याने येऊ शकणारा नरम मुलायम पणाचा गुणधर्म नष्ट होऊन चिकणमातीचे दगडा सारख्या कठीण पदार्थात रूपांतर होऊं लागते.

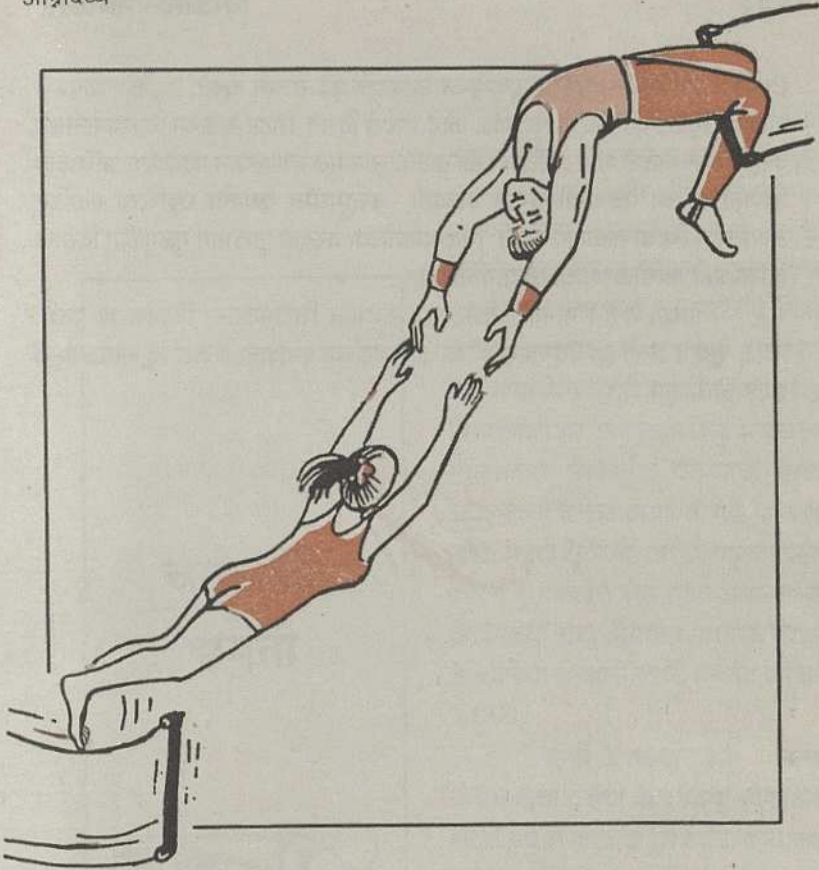
ह्या सिरॅमिक स्थित्यंतरानंतर पूर्णतः सुक्या चिकणमातीचे कण फक्त एकमेकांना चिकटलेल्या अवस्थेत राहतात. रासायनिक जल नष्ट होताना वस्तूमध्ये थोडेसे आकुंचनही होते. तथापि 'सिटरिंग' ह्या प्रक्रीयेमुळे वृढ रितीने सांधले गेल्यामुळे वस्तूमधील कण विलग होऊन वस्तू मोडत नाही. सिटरिंगचे वितळ जोडाशी साम्य वाटते. उष्णतेच्या प्रभावामुळे लहान लहान कणांमध्ये अंतर्बंधन निर्माण होते व ते एकमेकांशी सांधले जातात.



सुकलेली चिकणमाती

- (अ) कणांमधील मोकळ्या जागेत शिल्लक राहिलेला पाण्याचा अंश
 (ब) उष्णतेच्या सहाय्याने पाणी काढून टाकल्यावर कण एकमेकांजवळ येतात.

तथापि हे कण एकमेकांकडे कसे ओढले जातात? हा प्रश्न मनांत उद्भवणे साहजिक आहे. हे साध्य होण्याच्या प्रक्रीयेला 'विसरण' म्हणतात. घनपदार्थातील सर्व अणू स्थिर नसून त्यांच्या मध्य बिंदू भोवती लंबकाप्रमाणे झोका घेत असतात.



आंदोलित अणू दुसऱ्या अणूकडे झुल्यावरील कलाकाराप्रमाणे झेपावून जातात. वाढत्या तापमानाबरोबर त्यांच्या झोक्याची लांबी वाढते, व कधी कधी ती इतकी वाढते की दुसऱ्या अणूच्या झोक्याच्या मार्गात येवून आपल्या मूळस्थानी परतण्याअवजी ते अणू दुसऱ्या अणूच्या मार्गिके मध्ये सर्कसमधील झुल्यावरील कलाकाराप्रमाणे सरकतात. जेव्हा अशा प्रकारचे विसरण अनेक अणूंमध्ये होते तेव्हा त्यांच्या कणांमध्ये कायम स्वरूपी बंधन तयार होते. सिटरिंग मुळे चिकणमातीची घनता वाढते व हे सारे चिकणमातीतील कोणत्याही घटक पदार्थाच्या विलयबिंदु पेक्षा कमी तापमानांस घडते.

ह्या पेक्षांही अधिक तापमान वाढवले तर 'कांची करणाची' प्रक्रीया घडते. आधी सांगितल्या प्रमाणे चिकणमातीमध्ये अॅल्युमिनियम सिलिकेट ह्या प्रमुख घटकांखेरीज इतर धातूंची सिलिकेट असतात. त्यापैकी सोडीयम व पोटॅशियम सिलिकेट ह्यांचा विलय बिंदू सर्वांत कमी म्हणजे ८००-१००० ° सेल्सियस असल्याने त्यांचे प्रवाही व चिकट द्रवांत रूपांतर होते व ते अॅल्युमिनियम सिलिकेट सारख्या उच्च तापमान

(१९००° सेल्सियस) विलय पावणाऱ्या घटकाला दृढ संलग्न करते. थंड झाल्यावर हे प्रवाही व चिकट द्रव बनलेले सिलिकेट काचे सारखे दिसते. सिंटर केलेल्या चिकणमातीच्या वस्तू मधील पोकळ भाग (सच्छिद्र) ह्या कांचिकरणामुळे व्यापल्याने पदार्थाला अच्छिद्रता आणतो व त्या पदार्थाची घनता वाढवतो. वस्तूमधील कणांना घट्टरित्या एकत्रित आणल्याने त्याची ताकदही वाढते. चिकणमातीच्या वस्तूंचा पृष्ठभाग गुळगुळीत दिसावा ह्यासाठीही कांचीकरणाचा उपयोग करतात.

अशा तऱ्हेने मानवी उत्क्रांतीच्या संदर्भात सिरॅमिक्सचा विकास हा पृथ्वी, पाणी, सूर्य व अग्नी ह्या पंचमहाभूतांपैकी चार जणांच्या प्रभावाचा उत्कटबिंदू साधल्यामुळे झाल्याचे दिसून येते.



चाकाची भ्रमंती



कुं भारकाम - पॉटरी हे स्थिर आयुष्याचे निर्देशक मानले जाते. कारण जेव्हा मानवाने एका ठिकाणाहून दुसऱ्या ठिकाणी अशी भ्रमंती थांबवून घर स्थापले तेव्हा त्याला गृहोपयोगी वस्तूंची सर्वात जास्त निकड भासली. जसा काळ पुढे सरकत गेला तसा सुरुवातीच्या ओबड धोबड स्वरूपातील वस्तूंना कलापूर्ण बनविण्यापर्यंत पॉटरीचा विकास होत गेला. विकासाच्या ह्या वेगवेगळ्या स्थित्यंतरावरून मानवातील नवप्रवर्तक चैतन्याची तसेच सुधारलेल्या संस्कृतीची प्रचिती येते. पॉटरीला 'इतिहासाची दैनंदिनी' असेही म्हणता येईल कारण पुरातत्ववेत्ते उत्खननांत आढळणाऱ्या वेगवेगळ्या संस्कृतीमधील फरक व त्यांची ऐतिहासिक क्रमवारी पॉटरी वरूनच निश्चित करतात.

तुम्ही जाणकार तज्ञ असल्या खेरीज अशा तऱ्हेचा वेगवेगळ्या प्रदेशातील पॉटरी मधील फरक आणि त्यांचा कालावधी समजू शकणार नाही. ही आश्चर्य करण्यासारखी बाब नाही कारण वेगवेगळ्या नमुन्यातील पॉटरीचे स्वरूप व विशेषतः नावे ह्यामुळे संभ्रमित व्हायला होते. ह्या वस्तूंच्या वेगवेगळ्या स्वरूपातील फरक शोधणे हा त्यातला सर्वात सोपा उपाय होय. पॉटरीचे दृश्य स्वरूप व इतर गुणधर्म हे त्या वस्तू बनविण्यासाठी जो कच्चा माल वापरला जातो व त्याची तयार करण्याची प्रक्रिया ह्यावर अवलंबून असतो.



कच्चा माल - चिकणमाती :

अगदी पुरातन काळी कुंभार नैसर्गिक रित्या मिळणारी चिकणमाती दैनंदिन गरजेच्या वस्तू बनविण्यासाठी वापरीत असत, चिकणमाती ही अनेक खनिजांचे मिश्रण असल्यामुळे त्या खनिजांचे प्रमाण स्थळानुसार बदलत असते, व त्यामुळे वस्तूंच्या रंगात व आर्युमानांत फरक पडतो. वस्तूंना सहज सुलभतेने आकार देण्यासाठी केओलिनाईट किंवा बॅटोनाईट ह्या प्रकारची चिकणमाती त्यांच्यातील आकार्यतेमुळे आदर्श ठरतात. तथापि अशा प्रकारच्या चिकणमातीपासून बनविलेल्या वस्तू सुकवीत असतांना व भाजून काढतांना अधिक आंकुचन पावण्याने तडे जाण्याची शक्यता असते. हा तडे जाण्याचा गुणधर्म आवाक्यांत ठेवण्यासाठी चिकणमातीमध्ये गारगोटीची भुकटी मिसळतात. फ्लीट व क्वार्टझ ह्या दोन प्रकारची गारगोटी म्हणजे सिलिका

किंवा सिलिकॉन ऑक्साईड ह्यांची रूपे असून त्यांच्यात पाणी सामावून घेण्याची क्षमता नसते परिणामी त्यांना साच्यातून आकार देखील देता येत नाही, तथापि पाणी सामावण्याच्या क्षमते अभावी त्यांना उष्णता दिली असतां चिकणमाती प्रमाणे आकुंचन पावण्याचा प्रश्न उद्भवत नाही. चिकणमाती व गारगोटीच्या मिश्रणांपासून बनविलेली पॉटरी सच्छिद्र मात्र असते. चिकणमाती भाजली जात असतां त्यातील रासायनिक जल निघून गेल्यावर निर्माण होणारी पोकळी हवा व्यापते त्यामुळे वस्तू सच्छिद्र बनतात.

पुढे असें आढळून आले कीं फेल्डस्पार सारखे कांहीं पदार्थ चिकणमातीत मिसळले असतां वस्तूंना गुळगुळीतपणा, कांची पृष्ठभाग व अधिक ताकद आणता येते. फेल्डस्पार हे देखील मूलतः अॅल्युमिनियम सिलिकेट असून चिकणमाती सारखाच खनिजाचा प्रकार आहे अशा खनिजांना ८००° - १०००° सेल्सियस पर्यंत उष्णता दिल्यावर वितळून त्यांचे कांचे सारख्या द्रवपदार्थात रूपांतर होते व चिकणमाती मध्ये सिरॅमिक स्थित्यंतरामुळे निर्माण झालेल्या कणांमधील छिद्रांची जागा व्यापतात. अशा तऱ्हेने कणांना संलग्नता आल्यामुळे ताकदही वाढते. थंड झाल्यावर हे कांची पदार्थ वस्तूंच्या पृष्ठभागाला गुळगुळीतपणा व चकाकी देतात. अशा तऱ्हेने फेल्डस्पार हा गालक पदार्थाचा विलयबिंदू सहजपणे कमी करण्याचे संयुग म्हणून कार्य करतो.

पारंपारिक सिरॅमिक्सच्या वस्तू उदा. पॉटरी ही मुख्यतः चिकणमाती, सिलिका व फेल्डस्पार ह्यांच्या मिश्रणापासून बनवितात. त्यांचे एकमेकांशी असणारे प्रमाण बदलण्यामुळे तयार होणाऱ्या वस्तूंच्या पृष्ठभागाला गुळगुळीतपणा अथवा खडबडीत पणा, निस्तेज किंवा चमकदार बनवितात. पॉटरीच्या अगदी सुरुवातीच्या काळांत अंदाजानेच मिश्रणे तयार करण्यामुळे वेगवेगळ्या गुणधर्मांच्या वस्तू बनल्या जात असत कारण शास्त्र व तंत्रज्ञान ह्या दोन्ही गोष्टी अत्यंत प्राथमिक अवस्थेत होत्या. वरील तीन पदार्थांचे वेगवेगळे प्रमाण, तयार करण्यासाठी वापरलेल्या भट्टीचे तापमान ज्या ठिकाणाची माती वापरली व त्यामुळे वस्तूंना जे रंग व स्वरूप आले त्यावरून त्यांना निरनिराळी नांवे देण्यांत आली.

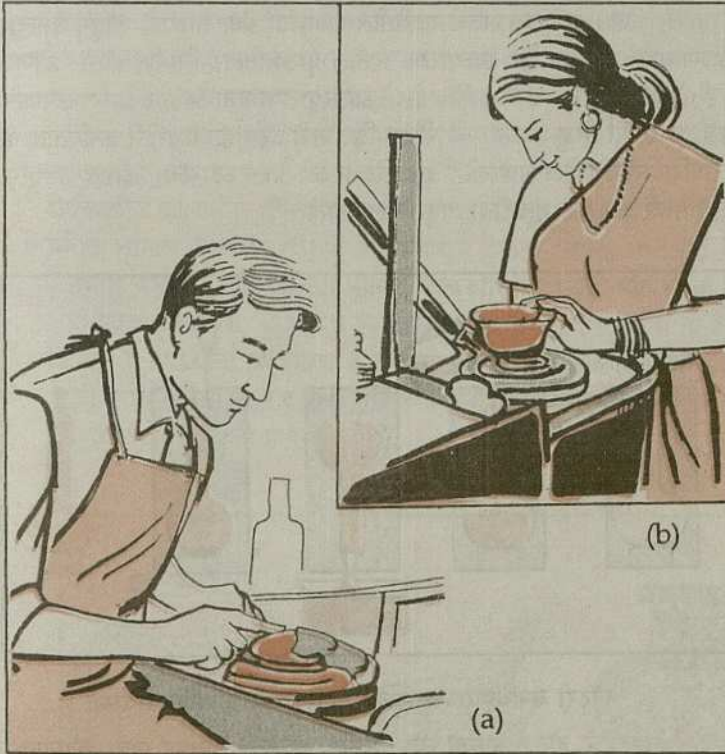
एकदा अपेक्षित अंतीम स्वरूपानुसार कच्च्या मालाचे प्रमाण ठरविले म्हणजे पुढची पायरी त्यांना आकार देणे, त्या नंतर त्या वस्तूंना सुकविणे व भाजून कायमचा टिकाऊपणा आणणे अशा येतात. अशा तऱ्हेने आकार देणे, सुकविणे व भाजणे ह्याच क्रमाने सिरॅमिक्समध्ये स्थित्यंतरे येतात.

पहिला उद्योगधंदा :

अगदी सुरूवातीची पद्धत म्हणजे चिकणमाती व पाणी ह्यांना एकत्र मळून त्याच्या घट्ट लगद्याला हातानेच हवा तसा आकार दिला जाई. अंदाजे इ.स.पूर्व ५००० वर्षे ह्या काळांत मेसोपोटेमिया मध्ये (आताचा इराक देश) वोर्क नांवाच्या गांवांत कुंभाराच्या चाकाचा शोध लागल्याने पॉटरीच्या उद्योगधंद्याला सुरूवात झाली. पॉटरीच्या धंद्यामध्ये झालेल्या यांत्रिकीकरणाचा हा पहिला टप्पा होय. कुंभाराचे चाक म्हणजे गोल फिरणारी चकती असून त्यावर चिकणमातीचा घट्ट मळलेला गोळा टाकून दोन्ही हाताच्या सहाय्याने हवा तसा आकार देण्याचे साधन आहे. गोल वेगवान गतीने



फिरणाऱ्या चिकणमातीच्या गोळ्यावर थोडासा दाब देऊन इच्छित आकारांत त्याला रूपांतरित करता येते. मातीच्या वस्तू बनविण्याचा हा प्रकार अत्यंत विलोभनीय व सरळ सोपा वाटतो परंतु त्यासाठी उत्तम कौशल्य व शिक्षणाची आवश्यकता आहे. तुम्ही जाणतांच कीं आज देखील आपल्या खेड्यापाड्यातून हीच पद्धत सर्वसाधारणपणे वापरली जाते. अगदी सुधारलेल्या पाश्चात्य देशांत देखील कलापूर्ण अशा एकेक वस्तुंसाठीही हीच रीत वापरतात.

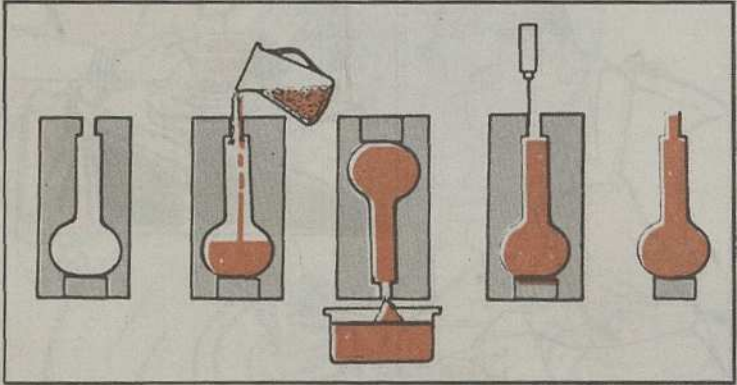


पॉटरी बनविण्याच्या कृती (अ) जिगरिंग (ब) जॉलीईंग

कपबशा, फुलदाणी अशा एकाच आकाराच्या व मोठ्या प्रमाणावर व्यापारासाठी वस्तू बनविण्याकरिता जिगरिंग व जॉलीईंग पद्धती वापरतात. मातीचा गोळा कुंभाराच्या चाकावर फिरवून हाताने आकार देण्या ऐवजी प्लास्टर ऑफ पॅरीसच्या साच्यावर चिकणमातीचा गोळा ठेवून धातूच्या बहिवक्र पटीच्या सहाय्याने थोडा दाब देतात,

त्यामुळे थाळीच्या आतील पृष्ठभागावर साच्याचे प्रतिबिंब येते. ह्याला जिगरिंग पद्धती म्हणतात. व प्लास्टरच्या साच्याचा आंतरवक्र आकार करून कप किंवा खोलगट वाटी सारखे भांडे बनविण्याच्या पद्धतीला जॉलीईंग म्हणतात.

जर चिकणमातीत जास्त पाणी मिसळून त्याची रबडी तयार केली तर ती प्रवाही बनते व साठवणीच्या भांड्यांचा आकार धारण करू शकते. आकार देण्याच्या ह्या पद्धतीला स्लिप कास्टिंग किंवा ओतीव पद्धती म्हणतात. सहजी प्रवाही अशी चिकणमाती व पाणी ह्यांची बनविलेली रबडी - स्लिप प्लास्टर ऑफ पॅरीसच्या साच्यांत ओततात. थोड्याच वेळांत पातळ रबडीतील पाण्याचा अंश साच्याने शोषून घेतल्याने चिकणमातीचा पातळ थर साच्याच्या आतील पृष्ठभागावर निर्माण होतो. आणखी कांही वेळाने हा थर सुकतो व साच्याच्या आंतरपृष्ठभागाचा आकार धारण करणाऱ्या वस्तूच्या रूपांत मिळू शकतो. पॉटरीच्या कितीतरी वस्तू ह्या पद्धतीने बनवितात. ह्या पारंपारिक रीतिंखेरीज आणखीही सुधारित पद्धती आतां वापरल्या जातात. आधुनिक पद्धतींमध्ये कोरड्या भुकटीचा वापर केला जातो.

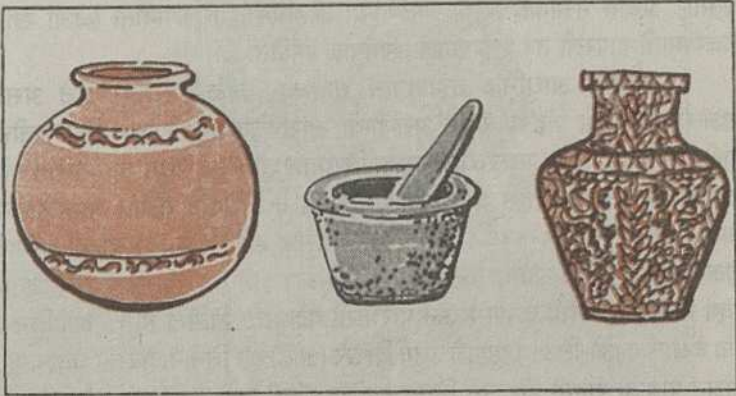


पॉटरी बनविण्याच्या स्लिप कास्टिंग पद्धतीतील अवस्था

पॉटरीचे ढोबळ मानाने तीन विभाग पडतात. मृत्तिका पात्र, अश्मपात्र व चिनीमाती. पहिल्या प्रकारातील भांडी सच्छिद्र असतात तर इतर दोन प्रकारातील वस्तूंची घनता जास्त असते. ह्या प्रत्येक प्रकारच्या भांड्यांचे दृश्य स्वरूप व गुणविशेषता ती बनविण्यासाठी वापरलेला कच्चा माल, भाजण्यासाठी वापरलेली पद्धती व विशेषतः तापमान ह्यावर अवलंबून असते. मृत्तिका पात्रे ही सर्वांत जुन्या व अत्यंत सोप्या पद्धतीने बनविलेली असतात. भारतासह कित्येक देशांत आज देखील ह्याच पद्धतीचा वापर करतात. ह्या साठी फक्त नैसर्गिक रित्या मिळणाऱ्या चिकणमातीचा वापर केला

जातो. पूर्वी लिहीलेल्या पद्धतीने आकार दिल्यानंतर त्यांना १००° - १०००° से. तापमानांस भाजतात. चिकणमातीचा विलय बिंदू १६०० ° से. पेक्षां कमी नसल्याने १०० °-१००० ° से तापमानांस फक्त पाण्याचा अंश जाऊन वस्तू सिंटर होते पण त्याचे कांचीकरण किंवा वितळण्याची प्रक्रीया होत नाही. त्यामुळे जसे गाळक वापरल्याने कांचीकरण निर्माण होते तसे न होता वस्तू सच्छिद्र व ओबड धोबड पृष्ठभागाची बनते. वस्तूंचा रंग सुद्धा राखाडी पासून तांबूस लाल किंवा करडा ते काळा असा असतो. नैसर्गिक रित्या मिळणाऱ्या चिकणमातीत अंगभूत असणाऱ्या लोखंडाच्या अंशानुसार चिकणमातीची भांडी भाजताना लोखंडाचे फेरिक ऑक्साईड ह्या करड्या रंगाच्या संयुगामध्ये रूपांतर होत असल्याने भांड्यांनाही तोच रंग मिळतो. घट, मडकी इत्यादी वस्तू ह्याच सर्वसाधारण पद्धतीने बनवितात.

पूर्वीच्या काळी कांहीं कुंभारांनी भांड्यांच्या पृष्ठभागावर वॉर्निश लावून त्याला गुळगुळीत पणा व सच्छिद्रपणामुळे येणाऱ्या गैरसोयी दूर केल्या. तथापि दीर्घकालीन वापरानंतर वॉर्निशचा थर निघून जात असे. कांहीं बुद्धीमंतांनी ह्या पेक्षां अधिक चांगला व कायम स्वरूपी उपाय शोधून काढला. त्यांनी भाजलेली खडबडीत पृष्ठभाग असणारी भांडी कांचेची भुकटी, फेल्डस्पायर किंवा साधे मीठ ह्यांचा थर देऊन पुन्हां एकवार भाजली. दुसऱ्यांदा भाजतांना हे पदार्थ वितळून त्यांनी छिद्रांची जागा व्यापली व भांड्यांना अच्छिद्रता व चकाकी आली. ह्या प्रक्रियेला झिलई म्हणतात. अगदी पुरातन काळापासून वस्तूंची सच्छिद्रता कमी करण्यासाठी किंवा त्यांना सुशोभित करण्यासाठी ही पद्धती वापरली जाते.



पॉटरीचे तीन प्रकार (अ) मृत्तिका पात्र (ब) अश्मपात्र (क) चिनीमातीचे भांडे

झिलईची चकाकी :

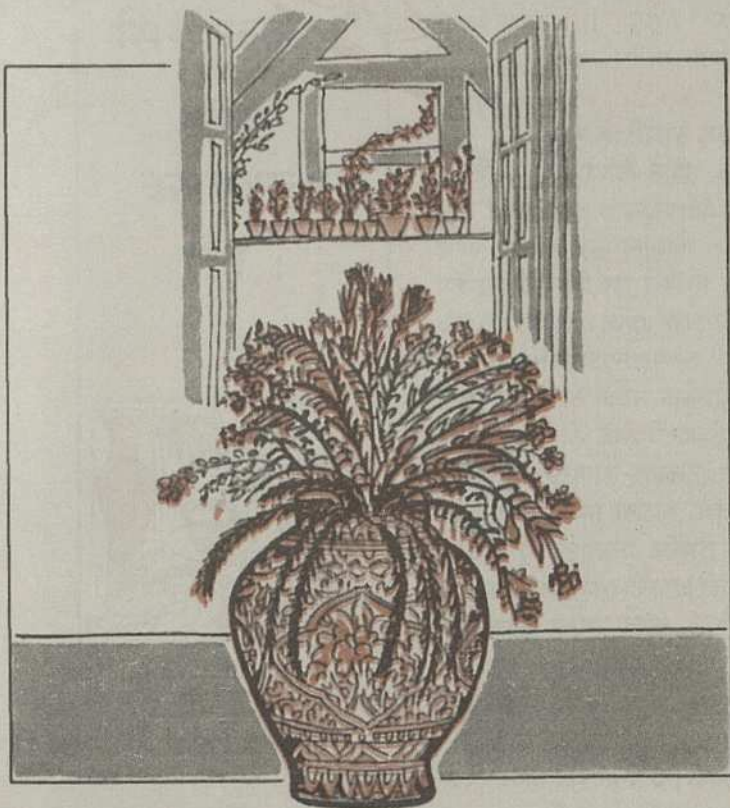
कथिलाचे क्षार वापरण्यांस सुरुवात केल्याने झिलई मध्ये उत्क्रांति झाली. ह्या वस्तूंना अपारदर्शक परंतु शुभ्र धवल आवरण निर्माण झाले. वेगवेगळ्या देशांत अशी झिलईकाम केलेल्या वस्तू अधिक लोकप्रिय बनल्या आणि निरनिराळ्या नांवानी प्रसिद्धीस आल्या. माजोलिका, फिरांस व डेल्यु ही मुख्यतः एकाच प्रकारची असली तरी वेगवेगळ्या ठिकाणी बनल्यामुळे ती नांवे त्यांना दिली गेली. कथिलाचा झिलई कामासाठी वापर देखील पुरातन काळापासूनचा आहे. बहुधा असीरियन (पश्चिम आशिया खंडातील ताईग्रस नदीच्या खोऱ्यातील) लोकांनी ही कला शोधली असावी असे तेथे उत्खननांत आढळलेल्या सफेद मीनाकारीने सुशोभित विटांच्या कामावरून लक्षांत येते. कथिलाचे झिलईकाम मेसोपोटेमिया मध्ये रूढ होते. ते प्रसार पावत तेथून स्पेन व माजोलिका बेटांपर्यंत इटली मध्ये आले व ह्यामुळे माजोलिका पॉटरी ह्या सुप्रसिद्ध नांवाने ते माहीत झाले. कमी तापमानास वितळणाऱ्या, ज्यांना गालक म्हणतात असे पदार्थ नैसर्गिक चिकणमातीपासून बनविलेल्या पॉटरी मध्ये वापरले तर वस्तूंना कठीणपणा व अपारदर्शीत्व येते. ह्यांना अश्मपात्र म्हणतात.

सर्वसाधारणतः फेल्डस्पार हे गालक ह्यासाठी वापरतात. जेव्हा नैसर्गिक चिकणमाती व गाळक ह्यांचे मिश्रण 9200° से. तापमानांस नेतात तेव्हा चिकणमातीच्या कणांवर काहीही परिणाम न झाल्याने ते वस्तूंचा आकार टिकवून धरतात तथापि गाळक पदार्थ वितळल्याने द्रवरूप होतो किंवा त्यांचे कांचिकरण होते. हा द्रव पदार्थ एरव्ही सच्छिद्र रहाणाऱ्या वस्तूंमधील छिद्रांची जागा व्यापतो व त्यांना अच्छिद्रता व अपारदर्शी बनवतो. अशा वस्तूंचा रंग साधारणतः तांबूस, राखाडी, किंवा काळा असतो. अर्थात नैसर्गिक रित्या मिळणाऱ्या लोहमिश्रीत चिकणमाती ऐवजी खास चिकणमाती वापरली तर शुभ्र धवल अश्मपात्र बनविता येते.

बहुतेक आधुनिक चहापानाचे साहित्य -क्रॉकरी चिनीमातीचे असते. भाजल्यानंतर शुभ्र पांढऱ्या रंगात असणाऱ्या खास चिकणमातीपासून चिनीमातीची भांडी बनवितात. अशा प्रकारच्या वस्तू बनविण्याचा शोध सर्व प्रथम चीन देशांत तांग साम्राज्याच्या काळांत (इ.स. ६१८-९०७) लागला व विशेषतः युआन साम्राज्याच्या काळांत (इ. स. १२७९-१३६८) त्याचा खूप प्रसार झाला. भाजून पांढरी होणारी चिकणमाती व पॅटोल्से नांवाचा फेल्डस्पार ह्यांचे मिश्रण 9850° सेल्सियस ला भाजतात तेव्हा फेल्डस्पार कांची करण होऊन पारभासी पदार्थाची निर्मिती होते. केओलिन हे नांव देखील काओ-लिआंग म्हणजे उत्तुंग शिखर (आढे) ह्या चिनीनावावरून घेतल्यामुळे भाजून पांढऱ्या रंगाची होणाऱ्या चिकणमातीचा पॉटरीसाठी वापर सर्वात आधी चीन देशांत होत असावा असे दर्शविते

चिनीमातीच्या वस्तू सर्व जगभर आकर्षक म्हणून प्रसिद्ध आहेत. खूप वर्षेपर्यंत युरोपातील पॉटरी बनविणाऱ्या लोकांनी हे चिनी लोकांनी दाबून ठेवलेले रहस्य उघड करण्याचा आटोकाट प्रयत्न केला. अखेर ड्रेसडेन ह्या जर्मन शहरातील जोहान फ्रेडरीच बॉटगर ह्या किमयागाराने १७ व्या शतकात हे गुपीत उकलण्यांत यश मिळविले. व तोच सुप्रसिद्ध ड्रेसडेन पॉटरीचा जन्मदाता ठरला.

इंग्लंड मध्ये १८ व्या शतकात एक नवीन प्रकार बोनचायना ह्या नांवाने संशोधित झाला. केओलिन ह्या चिकणमातीमध्ये कांचेची भुकटी व हाडांची राख हे गालक म्हणून वापरून चिनीमातीची भांडी बनविण्याचा नवा प्रकार निर्माण झाला. वरील गालक पदार्थांमुळे वस्तूंना मुलायम असे पारभासी कांचीकरण प्राप्त होते.



चिकणमाती, फेल्डस्पायर व गारगोटी ह्यांचे प्रमाणांत बदल करून चिनीमातीचे असंख्य प्रकार बनवता येतात ५० % चिकणमाती, २५ % फेल्डस्पायर व २५ % गारगोटी असा कच्चा माल वापरल्यास कठीण चिनीमातीच्या वस्तू बनतात. चिकणमातीचे प्रमाण १०-१२ टक्क्याने कमी केल्यास मुलायम चिनीमातीचा प्रकार बनतो. विशिष्ट इंग्लीश बोनचायनामध्ये २५ % इतकी चिकणमाती वापरून उरलेल्यापैकी दोन तृतीयांश हाडांची राख व एक तृतीयांश कॉर्निश दगड-एक प्रकारचा फेल्डस्पायर ह्यांचा वापर करतात. ह्या सर्व चिनीमातींमध्ये शुभ्रधवल रंगापासून धुकट पांढऱ्या व निळसर छटा असणारा पांढरा पारभासी रंग आढळून येतो.



सिरॅमिक्सला चिवट करण्याची रीत :

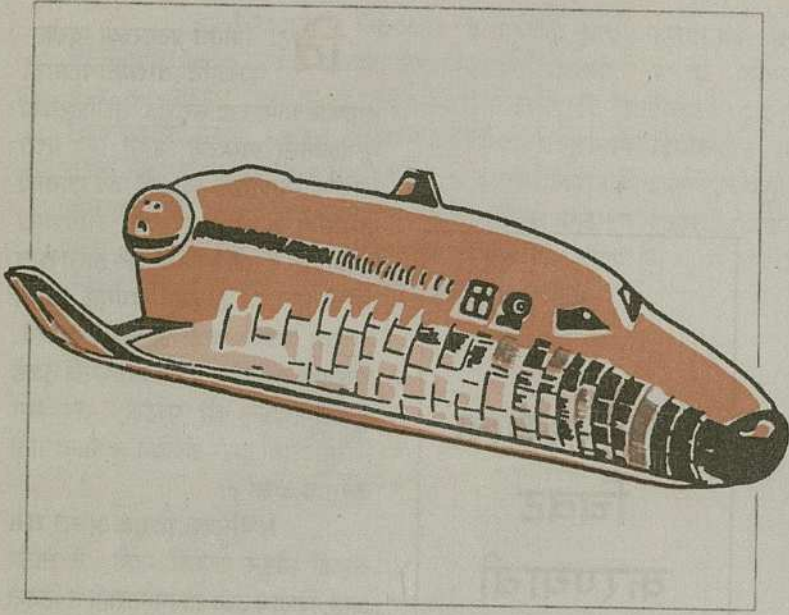


विटा, विविध प्रकारच्या फरशा इत्यादि बांधकामांसाठी

लागणारे सामान ही संरचित सिरॅमिक्सच्या मूलाकृतिची उदाहरणे आहेत. ह्या मध्ये वाहिन्या, वेगवेगळी स्वच्छता पात्रे ह्यांचाही समावेश होतो. ह्यासाठी लागणारा कच्चा माल व बनविण्याची रीत ह्या देखील पॉटरी प्रमाणेच आहेत. त्यामुळे त्यांची भंगुरता देखील थाळी असो की फरशी, तिच्यावर हातोडीचा ठोका बसला की तुकडे तुकडे होऊन ती फुटते. तर मग सिरॅमिक्सचा वापर संरचित सामानासाठी करतात कसा ?

सिरॅमिक्स ठिसूळ असले तरी सहजी मोडून पडणारे नाही. ते ताठर आहे. शिवाय उच्च तापमानासही ते टिकते. आणि क्षारक, रसायनांचाही त्यांच्यावर परिणाम होत नाही. ह्या, विशेषतः शेवटच्या दोन गुणधर्मांमुळेच त्यांचा वापर-अपरिहार्य म्हणूनही संरचनिक सामानासाठी करतात. आतां त्या बाबत विचार करूया.

वेगाने जाणारी वाहने हवेच्या प्रतिकूल विरोधामुळे तापतात. हे घर्षण वाहनाचा वेग कमी करतात. उदाहरणार्थ, मोटारीतून जाताना अत्यंत मामुली स्वरूपांत जाणवणारा वाऱ्याचा विरोध तुम्ही विमानातून प्रवास कराल तेव्हां त्याची तीव्रता जाणवण्या इतका वाढतो. घर्षणामुळे होणारी ही तापमानाची वाढ निव्वळ विमानाच्या वाढत्या वेगाच्या समप्रमाणांत नाही. तुम्ही विमानाचा वेग दुप्पट केलात तर घर्षणामुळे विमानाचे तापमान चौपट



उष्णता रोधक सिरॅमिक्सच्या फरशांचे आवरण अवकाश यानास संरक्षित करते

वाढते. अवकाश यानाचे बाबतीत हे तापमान 9500° सेल्सीयस इतके म्हणजे बहुसंख्य धातूंच्या विलय बिंदूपेक्षा अधिक एवढे वाढते. ह्यासाठी अवकाश यानाचा सांगाडा ह्या अशा उच्च तापमानांस टिकणारा असणे आवश्यक आहे.

असे आढळून आले की इंजिनाचे तापमान जेवढे जास्त असते तेवढी त्याची कार्यशक्ती अधिक होते. एक हजार अंश सेल्सियस तापमानांस काम करणाऱ्या डिझेल इंजिनची कार्यक्षमता सातशे अंश सेल्सियस तापमानाच्या इंजिनापेक्षां दीड पटीने जास्त असते. आणि दुर्दैवाने बहुसंख्य पदार्थ उच्चतापमानांस कमकुवत होतात.

वरील दोन्ही गोष्टींबाबत आधुनिक सिरॅमिक्स हे आपल्या मदतीसाठी धावून येते. उष्णता रोधक सिलिकाच्या फरशा अवकाशयानाच्या बाहेरील आवरणासाठी वापरतात तर जपानमधील एका स्वयंचलित वाहने बनविणाऱ्या कारखान्यांत सिरॅमिक्सच्या स्वयंचलित मोटारीच्या इंजिनाच्या यशस्वितेची चांचणी नुकतीच घेतली आहे. सिरॅमिक्सच्या उष्णता विरोधक गुणधर्माचा युक्तीने वापर केल्यामुळे वरती नमूद केलेले अडथळे दूर करणे शक्य झाले.

उष्णता समावेशकता :

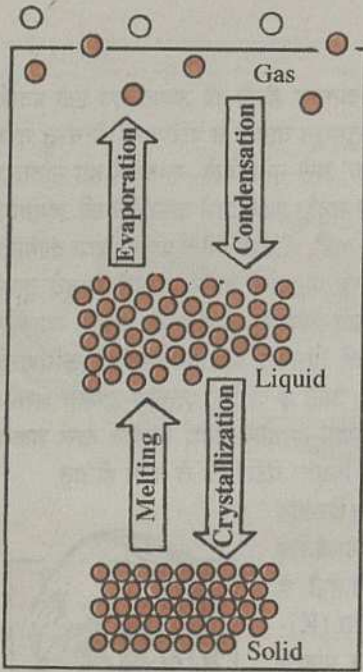
सुमारे २०० वर्षापूर्वी लोकांची कल्पना होती की उष्णता हा एक प्रवाही पदार्थ असून तो एखाद्या वस्तूवर किंवा वस्तूमधून वाहतो व परिणामी ती वस्तू गरम किंवा थंड बनवितो. तिला त्यांनी 'कॅलोरिक' असे नांव दिले. रूमफोर्ड ह्या नांवाच्या इंग्रज वैज्ञानिक सरदाराने (१७५३-१८१४) सर्वात प्रथम असे दाखविले की उष्णता हे शक्तीचे एक स्वरूप आहे व कोणतीही वस्तू नाही. तोफेला भोंके पाडण्याच्या कामावर लक्ष ठेवताना त्याला असे आढळले की भोंके पाडतांना बाहेर पडणारे धातूचे तुकडे खूप गरम असतात ही उष्णता पाण्यास उकळी येण्यास पुरेल इतकी असते. त्यानंतर त्याने बराच शोध घेतला व सिद्ध केले की गिरमीट फिरविण्यास जी कार्यशक्ती वापरली तिचा ह्या उष्णता निर्मितीशी संबंध आहे व यांत्रिक शक्तीचे उष्णता शक्तीत रूपांतरण होते. तुम्ही यांत्रिक शक्ती व उष्णता ह्यातील संबंध निश्चित करू शकता. हाताचे तळवे एकमेकांवर घासले की लगेच लक्षांत येईल की ते गरम होतात.

त्यानंतर दुसरे इंग्रज वैज्ञानिक जेम्स प्रिस्कॉट ज्यूल (१८१८-१८८९) ह्यांनी दाखविले की पदार्थातील अणूंच्या हालचालीने औष्णिक ऊर्जा निर्माण होते. हे सिद्ध करण्यासाठी त्यांनी गत्यात्मक सिद्धांत (Kinetic Theory) नांवाचा नवीन सिद्धांत मांडला. ह्या सिद्धांतानुसार निर्धारित शून्य (-२७३.१६° से) तापमानाखेरीज कोणत्याही तापमानांस वस्तू मधील अणू स्थिर नसतात. व निर्धारित शून्य इतके तापमान प्रत्यक्षांत कधीही संपादन करता येत नाही. त्यामुळे प्रत्यक्षांत अणू हे नेहमीच चलित स्थिति असतात. जेवढे वस्तूचे तापमान उंचावेल तेवढ्या जास्त जोमाने अणूंची हालचाल होते.



जेम्स प्रिस्कॉट ज्यूल

स्फटिक घन पदार्थांत अणूंची रचना एका ठराविक पद्धतीने झालेली असते. प्रत्येक अणू भोवती इतर अणू असतात व ते एकमेकांशी बांधलेले असल्याने अस्थिर असून देखील ठराविक निर्देशित जागे मध्येच हालचाल करतात. जरी ते शेजारच्या अणूशी संलग्न असले तरी निर्देशित जागेत कंप पावल्याप्रमाणे हालतात. जेव्हा पदार्थाचे तापमान वाढते तेव्हा अणू मधील कंपनाचा जोर अधिकाधिक वाढतो. व अखेरीस हे एकमेकांतील बंध तुटल्यामुळे ते निर्देशित जागा सोडून गटागटाने दूर आंदोलित होऊ लागतात. अशी स्थिती प्राप्त झाली की घन पदार्थाचा विलय होऊन तो द्रवांत रूपांतरीत होतो.



पदार्थास उष्णता दिल्यामुळे त्यातील अणू अधिक जोमाने एकमेकांपासून दूर जातात व घन पदार्थाचे विलयन व द्रवाचे बाष्पिभवन होते.

एका दृष्टीने व्यंग ठरून ठिसूळपणा येण्यासं कारणीभूत ठरतो हा विरोधाभास नव्हे काय? शक्ती, ताठरता व चिवटपणा ह्या मधील भेद जर स्पष्ट करता आला तरच हा विरोधाभास समजणे सोपे होईल.

जर एखाद्या वस्तूस अधिकाधिक जोर लावून खेचू लागलो तर ती वस्तू कांहीं प्रमाणातच ताणता येईल, पण कमी अधिक वेळानंतर ती तुटणार हे निश्चित. ताण दिला असतां एखादी वस्तू न तुटता जास्तीत जास्त जेवढा ताण सहन करू शकते त्याला त्या वस्तूची ताणशक्ती म्हणतात, त्याच्या सहाय्याने ती वस्तू किती ताणता येते ही महत्वाची परिक्षा करता येते. ह्यालाच तन्य मापांक म्हणतात, (Tensile Modules) केंद्रित केलेला ताण व खेचल्यामुळे होणारी लांबीतील वाढ ह्यांच्या भागाकाराने ती काढतात, खूप जोर लावूनही अत्यंत कमी प्रमाणांत लांबी वाढत

सिरॅमिक्स मधील उष्णता विरोधक प्रवृत्तीचे कारण त्यातील अणू मधील दृढ बंधन, बहुसंख्य सिरॅमिक्स ही आयनांची बनलेली असतात, (अणू किंवा अणूंचे गट हे धन किंवा ऋण विद्युत भारित असतात) त्यामुळे ह्या विद्युत शक्तीच्या आकर्षणामुळे ते एकमेकांशी संलग्न असतात, अशा तऱ्हेने सिरॅमिक्सला उच्चतापमानाला नेले असताना देखील स्वतंत्र रित्या प्रत्येक अणू किंवा आयनांमधील होणारे जोरदार कंपन एकमेकांपासून अलग करण्याइतके वाढत नाही, सर्वजण मिळून दिलेल्या निर्देशित जागेतच राहिल्याने घन पदार्थातील अणूंची मांडणी एकत्रितरित्या धरून ठेवतात व सहजासहजी छोट्या छोट्या गटांत विभागले जात नाहीत त्यामुळे सिरॅमिक्स उच्चतापमानांस सहजासहजी वितळत नाहीत.

शक्तीमान, ताठर व चिवट :

सिरॅमिक्स मध्ये असणारे अंतरअणूतील दृढ बंधन हा गुणविशेष

असेल तर त्या वस्तूचा तन्य मापांक जास्त असतो म्हणजेच वस्तू जास्त ताठर आहे असे म्हणता येईल. कारण ताठर पदार्थात ही गुणविशेषतः दिसून येते. कितीतरी प्रगत सिरेमिक्सचा तन्य मापांक जास्त असल्याने ते पोलादासारख्या धातू पेक्षाही जास्त ताठर असतात.

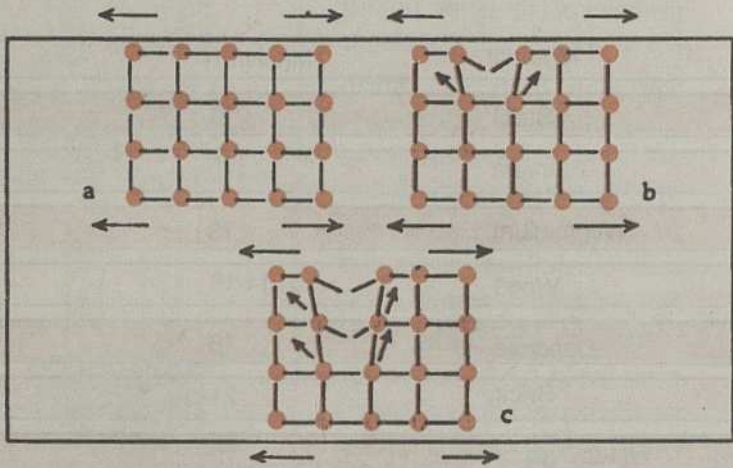
कांहीं सर्वसामान्य वस्तूंचें तन्य मापांक

Material	TM(GNm ²)
Steel	210
Titanium	120
Aluminium	73
Wood	14-16
Concrete	16
Brick	21
Window glass	72
Alumina (ceramic)	390
Silicon carbide (ceramic)	510

ज्या अर्थी ताणशक्ती ही पदार्थावर जोर दिला असता न तुटता जोर सहन करण्याची शक्ती असते त्या अर्थी ती त्या पदार्थातील रासायनिक बंधना इतकी असणार. व्यवहारात मात्र ही ताणशक्ती बरीच कमी आढळते. ही कमतरता येण्याची कारणे ए.सी.ग्रिफीथ (१८९३-१९६३) ह्या इंग्रज अभियंत्याने स्पष्ट केली आहेत. बहुसंख्य वस्तूंच्या रचनेमध्येच अनंत सूक्ष्म चूका किंवा अपुरेपणा असतो. ह्या सूक्ष्म चूका ती वस्तू बनवीत असतांनाच त्यांत निर्माण होतात. त्यामुळे जास्त जोर लावला असता तिचे भेगेमध्ये रूपांतर होते. म्हणून वस्तूवर ताण दिला असता त्यांत ह्या अस्तित्वात असणाऱ्या भेगांमध्ये हालचाल होऊन ती वाढल्यामुळे वस्तू तुटते. अर्थातच त्यासाठी वस्तूमधील अणुबंधनातील असणाऱ्या जोरापेक्षां कमी शक्ती पुरेशी होते. ह्या वस्तूमधील भेगेच्या हालचालीलाच वस्तूचे तुकडे होणे - भंगुरता म्हणतात.

सिरेमिक्सच्या वस्तू उष्णता देऊन बनवितात. सिरेमिक्सच्या वस्तूंना आकार

देतांना वापरलेले पाणी किंवा कांही सेंद्रिय विद्रावक वस्तुंना उष्णता देत असताना बाहेर पडतात व आपल्यामागे छिद्रे सोडतात. हीच छिद्रे अत्यंत सुलभतेने भेगेत रूपांतरित होतात. म्हणून सिरॅमिक्समध्ये ठिसूळपणा दिसून येतो.



पदार्थात अंगभूत भेग नसता ताणशक्ती सर्वत्र सारखी विभागली जाते (ब);
(क) पदार्थाच्या पृष्ठभागावर भेग किंवा खांच असताना तळाच्या पृष्ठावर
अधिक भार पडतो.

तथापि ह्या भेगे बाबत कांहीं पदार्थ अत्यंत चिवट असतात. वस्तूमध्ये भेगा अस्तित्वात असूनही त्यांची लांबी-सहजासहजी वाढू देत नाही. थोडक्यांत म्हणजे ठिसूळपणा व शक्ती ह्या संलग्न नसून चिवटपणा हा वस्तूमधील दुसराच गुणधर्म अतीशय महत्वाचा ठरतो.

वस्तूमधील चिवटपणा व भेगेमध्ये होणारी वाढ ह्याबाबतचा संबंध ग्रिफीथने १९२०-२४ दरम्यान स्पष्ट केला. त्याला असे आढळले की वस्तुवर ताण दिला असता तो जोर किंवा ताण त्या भेगेच्या टोकाशी प्रत्यक्षातील ताणापेक्षा खूप जास्त असतो म्हणून लावलेला जोर हा संपूर्ण भेगेवर न विभागता फक्त टोकांशी एकत्रित करण्याची भेगेची प्रवृत्ती असल्याने जेव्हा भेगेचे टोक अत्यंत टोकदार असते तेव्हा ताण जास्त जाणवतो. कापड फाडताना टोकाशी प्रथम कात्रीने थोडेसे कापून कापड ताणले असतां

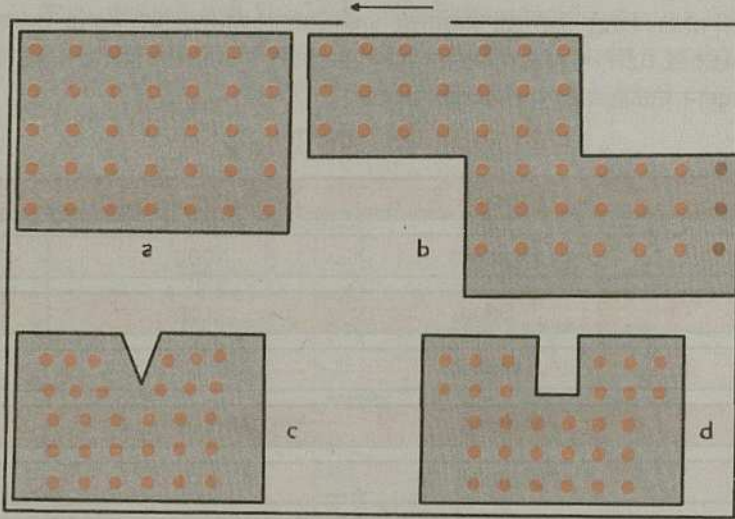
ते सहज फाटले जाते ह्या नेहमीच्या गोष्टीवरून ग्रिफीथच्या म्हणण्याचा तुम्हाला पडताळा येईल. पोस्टाच्या तिकीटा भोवती असणारी भोंके देखील आपणांस हवे त्या दिशेने तिकीट फाडण्यांस उपयुक्त ठरतात.

कांहीं पदार्थातील चिवटपणा :

Material	Gc(kJm ⁻²)
Copper	1000
Steel	100
Wood	0.5-2
Alumina	0.02-0.06
Porcelain	0.01
Glass	0.001-0.01

धातू चिवट कां असतात ?

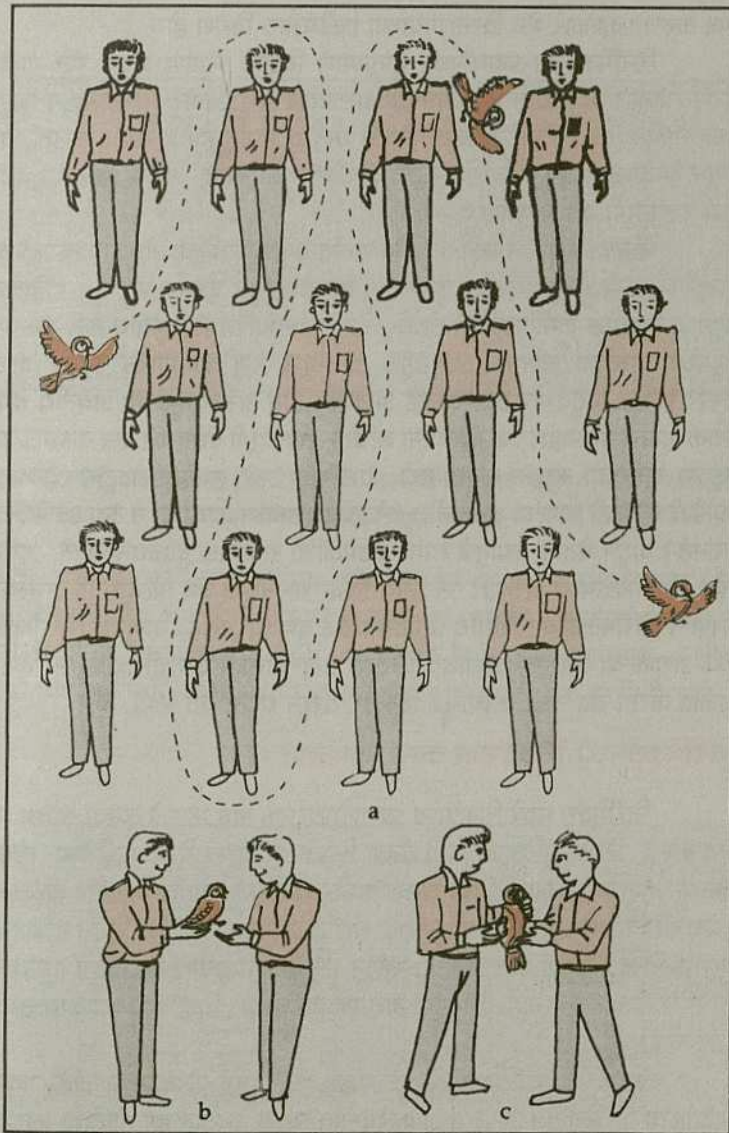
जर सिरॅमिक्सचा संरचित पदार्थ म्हणून इंजिन बनविण्या करिता किंवा आधुनिक उपयोगांसाठी संघटक म्हणून वापर होणार असेल तर त्यांचा चिवटपणा वाढवणे आवश्यक आहे. ज्या संघटकांचा आकार गुंतागुंतीचा-जटिल असेल तो संघटक लहानशा प्रहाराने तडकता कामा नये. चिवट वस्तूच्या गुणधर्मांच्या अभ्यासातून सिरॅमिक्सचा चिवटपणा वाढविण्याचा मार्ग मिळू शकेल. जास्त चिवटपणा असणारा पदार्थ म्हणजे धातू. उदा. चिनीमातीच्या लाख पटीने जास्त चिवटपणा तांबे या धातूंत असतो. धातूमध्ये एकाच मूलद्रव्याचे व एकाच प्रकारचे अणू असतात व कवायत करणाऱ्या सैन्याप्रमाणे त्यांची रचना एकाच ओळीने केलेली असते. ते ज्या रितीने एकमेकांशी संलग्न असतात, त्याला धातवीय बंधन म्हणतात. एच.ए.लॉरेंझ (१८५३-१९२८) ह्या डच शास्त्रज्ञाने १९१६ मध्ये सर्वप्रथम ह्या धातविय बंधनाचे स्वरूप स्पष्ट केले. अणूंमध्ये केंद्रस्थानी धनभार असून तो भोवतीच्या इलेक्ट्रॉनच्या ऋणभाराने संतुलित केलेला असतो. ह्या इलेक्ट्रॉनची मांडणी सतत वाढती ऊर्जा असणाऱ्या समकेंद्री कवचांनी केलेली असते. इलेक्ट्रॉनने युक्त अशा सर्वात बाहेरील समकेंद्री कवचाला संयुजा कवच म्हणतात. लॉरेंझने असे दाखवून दिले की अणू त्याच्या संयुजा कवचातील इलेक्ट्रॉन देऊन धनभार धारक अशा अणूचा आयन बनतो. त्याला ऋणायन असेही म्हणतात. हे ऋणायन एखाद्या कठिण गोल चेंडूप्रमाणे वागतात.



(अ) आणि (ब) धातूमधील तणावग्रस्त अणूंच्या रांगा एकमेकीस ओलांडून जातात. (क) आणि (ड) अणूंच्या हालचालीने धातूमधील भेगेचे अग्र बोथट बनते.

अणूंच्या स्फटिकांमध्ये अशा चेंडूंच्या अनेक रांगाचा साठा असतो. मुक्त संयुजा इलेक्ट्रॉन हे एकत्रित येऊन धातू मधील धनचेंडूंच्या रचनेच्या मधील जागेतून वायूच्या ढगाप्रमाणे इतस्ततः फिरू शकतात. हे इलेक्ट्रॉनचे ढग वेगवेगळ्या अणूंना एकमेकांशी सांधण्याचे काम करतात. परंतु हे बंध खूप दृढ नसल्याने धातूमधील अणूंच्या रांगा एकमेकांना सहजपणे ओलांडून जाऊ शकतात.

धातूमधील अशा हालचालीमुळे त्यांच्यात लवचिकता येते. धातूचे भंजन न करता त्यांना विकृत स्वरूप देता येते किंवा त्यांचा आकार बदलता येतो. ह्या गुणधर्मालाच तंतुक्षमता किंवा तन्यता म्हणतात. ह्याचे दोन उपकारक परिणाम आहेत. एक म्हणजे ताण शक्तीतला खूपसा भाग पदार्थाला विकृत करण्यांत खर्च होतो व दुसरा म्हणजे पदार्थ विकृत झाल्याने त्याचा बदललेला आकार त्यातील भेगेचे अग्र बोथट किंवा रूंद करतो व परिणामी स्थानीय ताणशक्ती कमी होते. ह्या दोन्हींचा एकत्रित परिणाम म्हणजे पदार्थातले भेगेचा विस्तार करण्यासाठी अस्तित्वात असणारी शक्ती ही तीव्र स्वरूपात कमी पडते व भेगेचा विस्तार करण्यास असमर्थ ठरते. अशा तऱ्हेने धातूमध्ये चिवटपणा जास्त असण्याचे रहस्य म्हणजे भेग रूंदावण्यासाठीचा कौशल्याने इतरत्र



(अ) धातवीय बंद असताना अणूंच्या रांगांमधून इलेक्ट्रीन स्वैरपणे फिरू शकतात.

(ब) समसंयुगी बंध असताना इलेक्ट्रॉन दोन अणूत विभागून असतात.

वापर करून एकप्रकारे भेग विस्तारण्याच्या प्रक्रीयेलाच विरोध होय

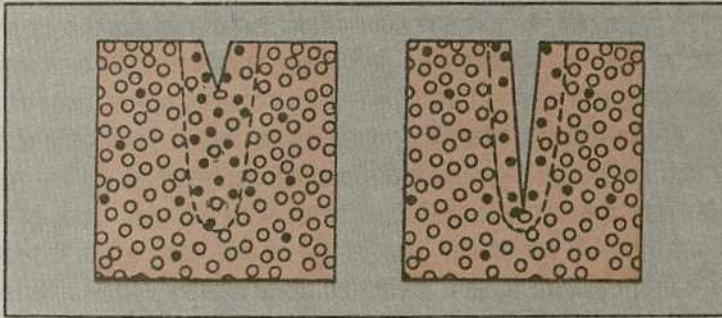
सिरॅमिक्सच्या पदार्थांमध्ये धातूंप्रमाणे विकृती निर्माण करता येत नाही कारण त्यातील अणूंमधील अंतर्बंधन दृढ असल्याने अणू एकमेकांना ओलांडून जाऊ शकत नाहीत. बहुसंख्य सिरॅमिक्सचे पदार्थ धातू व अधातू ह्यांचा संयोग असतो. व म्हणून वेगवेगळ्या अणूंना जोडणारे बंध देखील वेगळे असते. त्यांना आयनीय बंध किंवा सहसंयुगी बंध म्हणतात.

पहिल्या प्रकारांत एका अणूच्या सर्वात बाहेरच्या किंवा संयुजा कवचातील इलेक्ट्रॉन दुसऱ्या अणूच्या संयुजा कवचात कायमचे बदलून जातात. परिणामी पहिल्या अणूमध्ये ऋणभार कमी पडल्याने तो संपूर्ण अणू धनभारित होतो त्याच वेळी दुसऱ्या अणूमध्ये जास्तीचा ऋणभार झाल्यामुळे तो संपूर्ण अणू ऋणभारित बनतो. दोन परस्पर विरुद्ध विद्युतभार एकमेकांकडे आकर्षित होत असल्यामुळे हा अयनीय बंध अधिक दृढतर बंधनाद्वारे एक दुसऱ्यांना सांधतो. सहसंयुगी बंधामध्ये दोन वेगवेगळ्या अणूंच्या बाहेरच्या संयुजा कवचामध्ये चार चार असे समान इलेक्ट्रॉन असतात. दोघांपैकी कोणीही आपल्या कवचातील इलेक्ट्रॉन दुसऱ्यास कायमचा न देता एकमेकांत समानतेने वाटून घेतात. त्यामुळे त्यांचे एकमेकांशी सर्वाधिक दृढबंधन राहते. अशा तऱ्हेने सिरॅमिक्समध्ये असणारे आयनीय किंवा समसंयुगी बंध अत्यंत दृढ असल्या कारणाने सिरॅमिक्सच्या पदार्थांचे विघटन घडणे दुष्प्राप्य असते. म्हणूनच सिरॅमिक्स मध्ये असणाऱ्या अंगभूत तड्याचा विस्तार रोखण्यासाठी अणूची हालचाल किंवा तडजोड करता येत नाही व त्यामुळे विस्तार रोखून धरता येत नाही.

सिरॅमिक्समध्ये चिवटपणा कसा आणतात :

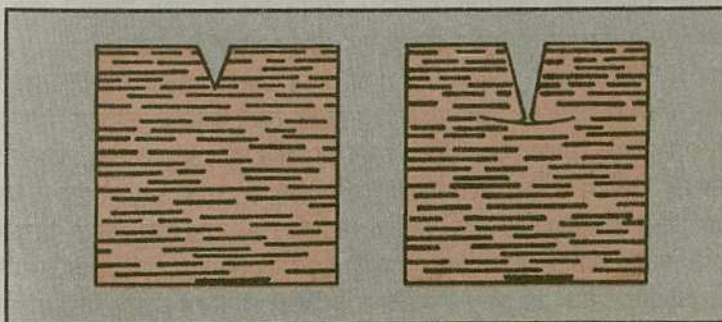
सिरॅमिक्स मध्ये चिवटपणा आणण्याचा एक मार्ग म्हणजे त्याची सच्छिद्रता कमी करणे. जेवढी सच्छिद्रता कमी तेवढा चिवटपणा जास्त येतो. प्रक्रीयेच्या नव्या तंत्रांच्या सहाय्याने एकूण छिद्रांची संख्या कमी करता येते. त्यामुळे सिंटरिंग करताना प्रत्येक स्वतंत्र कण एक दुसऱ्याशी अधिक संलग्नता प्राप्त करतो. सिरॅमिक्स पदार्थांना संपूर्ण अच्छिद्र बनविणे शक्य नसते. म्हणून सिरॅमिक्स मधील छिद्रांची व पर्यायाने भेगेची लांबी वाढणार नाही हे पहाणे हाच एकमेव उपाय चिवटपणा वाढवण्यासाठी शिल्लक राहतो.

रूपांतरीत चिवटपणा ही एक पद्धत आहे. ह्या पद्धतीमध्ये कांहीं संयुगे वेगवेगळ्या परिस्थिति आपल्या आकारमानांत फरक करतात ह्या गोष्टीचा फायदा उठवतात. उदाहरणार्थ, झर्कोनिया किंवा झर्कोनियम डायॉक्साईड हे दोन स्वरूपात असते - चतुष्कोणीय व एकनताक्ष. हे दुसरे स्वरूप बोजड व अधिक स्थिर आहे. ज्या सिरॅमिक्सच्या पदार्थांला चिवटपणा आणावयाचा आहे त्याचे प्रक्रीया करतानांच अर्धवट



झर्कोनियम डायॉक्साईडचे रेणू दाब दिल्याने आकार बदलून बोजड बनतात व भेगेचा मार्ग रोखून धरतात.

स्थिर अशा चतुष्कोणीय झर्कोनिया बरोबर मिश्रण करतात. त्यामुळे अशा मिश्र सिरेमिक्स मधील भेग जेव्हा विस्तारण्यासाठी पुढे सरकते व अशा अर्धवट स्थिर झर्कोनियाच्या कणापाशी येते तेव्हां त्या कणाचे स्थिर अशा एकनताक्ष स्वरूपात रूपांतरण करते. ह्या प्रक्रीयेत त्या कणाचे प्रसरण होऊन ती भेग बुजविली जाते.



तंतूमुळे भेगेचे अग्र रूंदावते (बोथट होते)

चिवट पदार्थ बनविण्याचा सर्वोत्तम मार्ग म्हणजे संमिश्रांचा वापर करणे हा होय. संमिश्र ह्या नांवावरूनच लक्षांत येते की हे दोन किंवा अधिक वेगवेगळ्या पदार्थांचे मिश्रण आहे. हे पदार्थ वेगवेगळ्या स्वरूपांत असतात- एखादा तंतूस्वरूपांत व उरलेला साधा घन आकारमानाचा. संमिश्रातील दोन्ही पदार्थ जरी एकमेकांशी दृढपणे संलग्न झाले नसले तरी ते एकमेकांत पूर्णतः गुरफटलेले रहातात, उदाहरणार्थ जेव्हां संमिश्रामधील सिरॅमिक्समध्ये असणारी भेग पुढे सरकत तंतूमय पदार्थांपाशी येते तेव्हां सिरॅमिक्स व तंतूमय पदार्थांतील कमकुवत बंध चिरेला पुढे जाण्यास वाव देताना तिची दिशा बदलतात, व चिरेच्या अग्राला बोथटपणा येतो, अशा कृत्रिम उपायांनी चिवटपणा वाढवता येतो. अशा तऱ्हेने संमिश्राचे विज्ञान ठाऊक नसताना देखील प्राचीन काळच्या बांधकाम करणाऱ्यांनी ओल्या मातीच्या लगद्यात गवताच्या काड्यांचे तुकडे मिसळून चिवट विटा बनविल्या.

कलकत्याची केंद्रीय कांच व सिरॅमिक्स संशोधन संस्था ही सी.एस.आय.आय.च्या अखत्यारीतील एक संस्था भारतातील सिरॅमिक्स विषयातील संशोधन व विकास करणारी सर्वात प्रमुख आहे. येथील शास्त्रज्ञांनी सिरॅमिक्स विषयातील नवप्रवर्तक अशी अनेक विकासकार्ये केलेली आहेत. स्वदेशी बनावटीचा रूपांतरीत चिवट अॅल्युमिना, रूपांतरित चिवट झर्कोनिया, टिटॅनियम कार्बाईड, टिटॅनियम नाईट्राईड व अॅल्युमिना ह्यांची संमिश्रे ही कांही उदाहरणे आहेत.

कठीण पणाचे मोजमाप :

सिरॅमिक्स हे संरचित पदार्थ केवळ उच्चतापमानांस टिकाव धरतात म्हणून उपयोगी नसून त्यांच्यात अपवादात्मक असा अति कठीणपण देखील आहे. काठिण्यामुळे त्यांची झीजही कमी होते. सिरॅमिक्स पासून बनविलेले संघटक त्यांचा ठिसूळपणा हा अडथळा वगळला तर दीर्घायुषी असतात. अत्यंत कठीण आणि ठिसूळ? होय ! सिरॅमिक्स हे ज्ञात पदार्थांपैकी सर्वात कठीण म्हणून ओळखले जातात.

फ्रेडरिक मोह (१७७३-१८३९) ह्या जर्मन खनिज वैज्ञानिकाने कठिणपणाची तुलना करण्यासाठी सर्वात प्रथम मोजपट्टी बनविली. त्याने पदार्थांचे काठिण्य मोजण्या करिता संगजिरे, जिप्सम, कॅल्साईट, फ्ल्युराईट, अॅपेटाईट, ऑर्थोक्लेस, गारगोटी, पुष्कराज, कोरंडम व हिरा अशी प्रमाणे तयार केली. व त्यांना अनुक्रमे एक ते दहा क्रमांक दिले. क्रमाने पुढील पदार्थ आधीच्या पदार्थांवर ओरखडा काढू शकतो. हिरा हा सर्वात कठीण खनिज पदार्थ आहे. जेव्हां मोहला कुठल्याही पदार्थाचा कठीणपणा पहायचा असेल तेव्हां तो त्याने बनविलेल्या प्रमाणित खनिजाने त्यावर चिरा ओढित असे. व त्यानुसार त्याला कठीणतेचा क्रमांक देत असे. मोहच्या मृत्युनंतर त्याच्या नावाची काठिण्य मोजपट्टी ओरखडा काढण्यास असणाऱ्या विरोधावरून वर्गीकरण करणारी म्हणून बनविली गेली. ह्या मोजपट्टीनुसार बहुतेक सर्व सिरॅमिक्सचे पदार्थ

आठ ते नऊ ह्या क्रमांका दरम्यान येतां तर कठीण मानलेल्या पोलादा सारखा धातू सात क्रमांकावर येतो. अर्थात ह्या मोहच्या मोजपट्टीने पदार्थाचे काठिण्य ढोबळ मानानेच समजते.

कांही पदार्थांचा कठीणपणा

Material	Hv
Tin	5
Aluminium	25
Gold	35
Copper	40
Iron	80
Mild steel	140
Window glass	550
Granite	850
Alumina	2500

आजकाल अधिक अचूकपणे कठीणपणा मोजण्याच्या पद्धती अवगत झाल्या आहेत. त्यापैकीच एका व्हिकर्सच्या काठिण्य मोजण्याच्या पद्धतीत पिरॅमिड च्या आकाराच्या हिऱ्याने नमुन्याच्या पदार्थावर सर्वत्र एकसारखा दाब देऊन त्याच्या ठशाच्या प्रमाणावरून काठिण्य मोजतात. एक लक्षांत ठेवण्यासारखी बाब म्हणजे तांब्याची ४०, लोखंडाची ८० व मृदुपोलादाची कठिणता १४० आहे तर त्यांच्या तुलनेत अॅल्युमिनाचा काठिण्य मापांक २५५० इतका भरतो. सिरेमिक्स मधील उष्णता रोधकता, काठिण्य व वीज विरोधक हे गुणधर्म लक्षांत घेता सिरेमिक्स हे अवकाशयुगासाठीचे सर्वोत्कृष्ट पदार्थ ठरतात. संमिश्रांच्या नवनिर्मितीमुळे सिरेमिक्सच्या ठिसूळपणाचा प्रश्न बद्धंशी सोडविला आहे. त्यामुळे आज कोणत्याही गरजेच्या वस्तुच्या संदर्भात सिरेमिक्सचा सर्वात प्रथम विचार केला जातो.

जोडीचा चिवटपणा

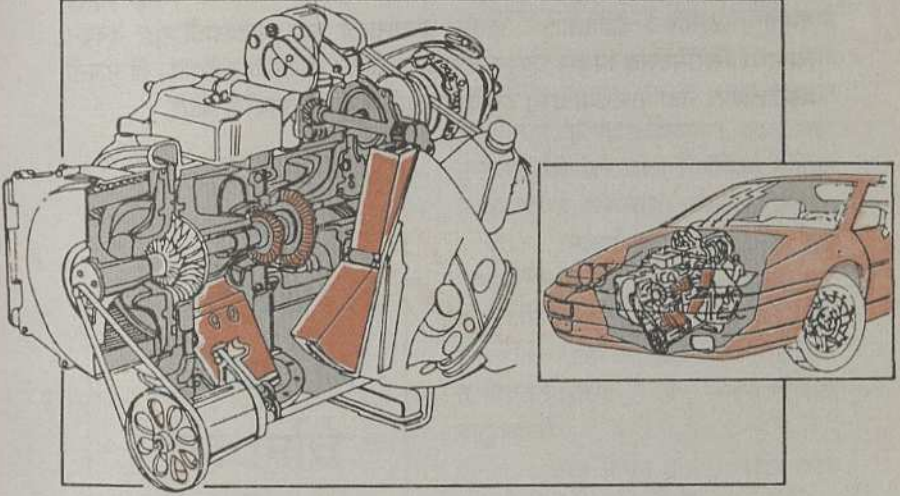
संमिश्रांमध्ये चिवटपणा खेरीज उभय घटकांपैकींचे उत्तमोत्तम गुणधर्मही

सामावलेले असतात. सर्वात उपयुक्त असे आधुनिक संमिश्र म्हणजे कांच प्रबलित प्लास्टीक (GRP) ह्या मध्ये कांचेची दृढता व प्लास्टीकची साचे बद्धता ह्या दोन्हीचा संगम असतो. सिरॅमिक्स मधील तंतूमय स्थितीतील सिलिकॉन कार्बाईड व ॲल्युमिनियम ऑक्साईड ह्या मध्ये अत्यंत कठिणपणा व मशीन करण्याची क्षमता ह्या गोष्टी साध्य होतात. त्यामुळे त्यांच्या पासून बनविलेल्या झिरप विरोधी कडे, झडप, मुद्रा इत्यादि वस्तू बनविल्या जातात. त्यांचा झीज विरोध प्रखर असल्या कारणाने वापरात असणाऱ्या सर्वसामान्य इतर वस्तूपेक्षा पन्नास पट जास्त आयुर्मर्यादा त्यांना असते. अशाच प्रकारे ॲल्युमिनाच्या आधात्रीमध्ये झर्कोनियाचे तंतू न्याविष्ट करून त्यांचा कात्रणाची हत्यारे बनविण्यासाठी उपयोग करतात.

आधुनिक संमिश्र सिरॅमिक्सची सर्वात जास्त उपयुक्तता अवकाशयान उद्योगामध्ये आढळते. प्रथमच्या काळांत धातूंच्या संयुगांपेक्षा सिरॅमिक्ससंमिश्रे वजनांस हलकी असतात एवढाच गुणधर्म विशेष वाटत होता. आतां वांछित गुणधर्मांचे सिरॅमिक्सचे पदार्थ निर्माण करण्याची शक्यता वाढल्याने खास वापरासाठी गरजेप्रमाणे गुणधर्म असणारे सिरॅमिक्स संमिश्र बनविले जाते. सध्या सिरॅमिक्सचा वापर अवकाशयानाची उष्णता रोधक आवरणे बनविण्यासाठी केला जातो. परंतु नजीकच्या काळांत अवकाश यानाचे इतर घटक बनविण्यासाठीही सिरॅमिक्सचा वापर होईल असे दिसते. लवकरच तुम्ही सिरॅमिक्सचे इंजिन असणाऱ्या जेट विमानातून उड्डाण करू शकाल हा केवळ अंदाज नाही. निस्सान, मझदा, इझझू, मर्सिडिझ अशा नामांकित स्वयंचालित वाहन निर्मिती करणाऱ्या उद्योग समूहांनी सिरॅमिक्सचे इंजिन किंवा सिरॅमिक्सचे घटक असणारे इंजिनाची मोटारगाडी बनविली आहे. सिरॅमिक्सच्या पदार्थापासून बनविलेली आहे. इंजिने वजनाला हलकी असतात व अधिक इंधन बचत करणारी असतात कारण धातूंच्या इंजिनापेक्षा ती उच्चतापमानांस कार्य करीत असतात.

ह्या शिवाय सिरॅमिक्स व सिरॅमिक्सची संमिश्रे ही संरक्षण विषयक उद्योगधंद्यात खूप उपयुक्त ठरतात. ह्या पदार्थांमधील अत्यंत कठीणपणाचा उपयोग आधुनिक रणगाडे, चिलखती वाहने, ह्यांच्या बाह्य कवचासाठी करता येतो. त्याच प्रमाणे आधुनिक संमिश्रे ही अग्नीबाण बनविण्यासाठी उपयुक्त ठरतात. अग्नीबाण हे वेगवान असल्यामुळे हवेच्या घर्षणाने खूप तापण्याची शक्यता असते. उष्णता विरोधक अशा सिरॅमिक्सचा वापर करण्याने अग्नीबाण उष्णतेपासून सुरक्षित राहतो.

सिरॅमिक्स मधील आणखी एक विकसित पदार्थ म्हणजे सिरॅमिक्सच्या तंतूपासून बनविलेला कागद. अशा कागदाला सहजपणे कोणताही आकार देता येतो. व उष्णता विरोधक ॲबेस्टॉस ऐवजी त्याचा वापर करता येतो. ॲसबेस्टॉस प्रमाणेच अशा कागदाची घडी घालणे, सहजपणे कापणे किंवा गुंडाळी करणे शक्य असले तरी तो ॲसबेस्टॉस प्रमाणे आरोग्याला हानीकारक नसतो.



सिरेमिक्सच्या इंजिनाची स्वयंचलित मोटार (आंतील चौकोन) आणि
सिरेमिक्सच्या पदार्थाचे इंजिनाचे घटक

अपूर्व सिरेमिक्सची कारागिरी

पॉटरी बनविण्यासाठी नैसर्गिक खनिजांचा वापर करतात त्या ऐवजी आधुनिक सिरेमिक्स बनवितांना अत्यंत शुद्ध पदार्थांच्या भुकटींचा वापर करतात. अशा भुकटींचा वापर करून त्यांना आवश्यक असे आकार देण्यासाठी स्लिप कास्टिंग, मुद्रा दाब, अंतःक्षेप ओतीव काम किंवा निःस्त्रावण पद्धती वापरतात. ह्या पैकी स्लिप कास्टिंग मध्ये पॉटरी साठी वापरण्यांत येणारी मूलतत्वे असतात. तथापि आधुनिक सिरेमिक्सची रबडी बनविण्यासाठी पाण्याऐवजी सेंद्रीय पदार्थ दृढ बंधनासाठी वापरतात. सिंटरिंग प्रक्रीये दरम्यान पॉटरी मध्ये पाण्याची वाफ होते तशाच तऱ्हेने सेंद्रीय पदार्थांचे बंधन जळून जाते.

मुद्रा दाब पद्धतीत, भुकटींचे मिश्रण आवश्यक आकाराच्या मुद्रेमध्ये भरून त्यावर दाब देऊन वस्तू बनवितात. अंतःक्षेप ओतीव कामात सिरेमिक्सची भुकटी व पॉलिमरचे मिश्रण गरम करून साचेंबद करतात. आवश्यक त्या आकाराच्या बंदिस्त साच्यामध्ये अंतःक्षेप केलेले मिश्रण थंड झाल्यावर जरूर तो आकार धारण करते अशा वस्तूला उष्णता दिल्यावर पॉलीमर जळून जाते व जरूर त्या आकारातील

सिरॅमिक्सची वस्तू तयार होते. निःस्त्रावण पद्धती मध्ये देखील सॅद्रिय पॉलिमर मिसळून साचकाम करता येते. हा पदार्थ देखील निःस्त्रावण करण्या इतका प्रवाही बनतो. नळासारखे दंडगोलाकार आकार देण्यासाठी तशा आकाराची मुद्रा बनवून त्यामध्ये सिरॅमिक्सचे मिश्रण घालून दाब देऊन जरूर तो आकार देतात. ही पद्धती दंडगोलाकार नळा सारख्या वस्तू बनविण्यासाठी मुख्यत्वे उपयोगी पडते.



विविध विद्युत गुणधर्माचे सिरॅमिक्स

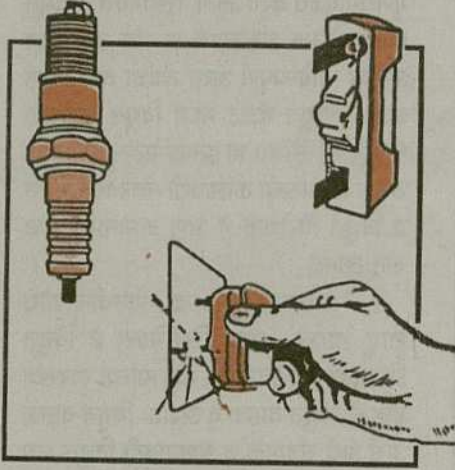


स्वयंपाकघरातील वस्तु साठ-
वणीची भांडी, विटा, फरशा व
सुस्वच्छता पात्रे ह्यासाठी होणारा सिरॅमिक्सचा
वापर हा त्यांच्यातील उच्च तापमानास टिकाव
धरण्याची क्षमता, क्षारक रसायनाबद्दल
उदासीनता, अत्यंत कठिणपणा, दृढता अशा
गुणधर्मांमुळेच केला जातो. सिरॅमिक्स हे विद्युत
प्रवाह रोधक असल्याचे लक्षांत आल्यावर
अत्यंत नाविन्यपूर्ण असा त्यांचा वापर सुरु
झाला. विद्युत गॅजेट मध्ये विद्युत विरोधक
म्हणून सिरॅमिक्स हा इतका महत्त्वाचा घटक
ठरला की थोड्या कालावधी नंतर सिरॅमिक्स
व विद्युत विरोधक हे जणू समानार्थी शब्द
वाटू लागले.

एका मागून एक नवनवीन शोध
लागू लागले. आज सिरॅमिक्स हे विद्युत
विरोधकां प्रमाणेच चांदी, तांबे ह्यांच्या सारख्या
सहजी विद्युत वाहक व अंशतः विद्युत वाहक
असे अर्ध संवाहक व अंशमात्रही विद्युत क्षय
न करणारे अतिसंवाहक म्हणून प्रचलित आहेत.
सिरॅमिक्स मधील ह्या विविध गुणधर्मांमुळे
त्यांचे अस्तित्व सर्वत्र जाणवते. सिरॅमिक्सचा
प्रभाव घरगुती वापरापासून दूर संदेश वहन
यंत्रणेपर्यंत, औद्योगिक तापनघटकांपासून
स्वयंचलित व हवाई वाहतुक उद्योग क्षेत्रापर्यंत
असा सर्वव्यापी होऊ लागला. सिरॅमिक्स
मधील अशा विविधपूर्ण गुणधर्मांचे रहस्य
काय असावे? तथापि प्रथम सिरॅमिक्स मधील
ह्या सुसंवाह गुणधर्मांचे व कांहीं मध्ये तीव्र
विद्युत विरोध असण्याचे कारण समजावून
घेणे आवश्यक आहे.

विद्युत सुसंवाह :

पॉल कार्ल ड्रुड (१८६३-१९०६) ह्या जर्मन वैज्ञानिकाने असे सुचविलें कीं तांब्यासारख्या धातूमध्ये इलेक्ट्रॉन नांवाचे भारितकण विद्युत वहनाचे कार्य करतात, जेव्हां विद्युतीय क्षेत्र निर्माण होते तेव्हा ते वेग पकडतात, तथापि त्यांच्या वहनाला पदार्थातील अणूंचा अडथळा येतो, ह्या अडथळांचा एकत्रित परिणाम म्हणजे विद्युत, विरोधक शक्ती ही प्रत्येक पदार्थागणिक वेगळी असते, अणूंची रचना त्यांच्या एकमेकांतील



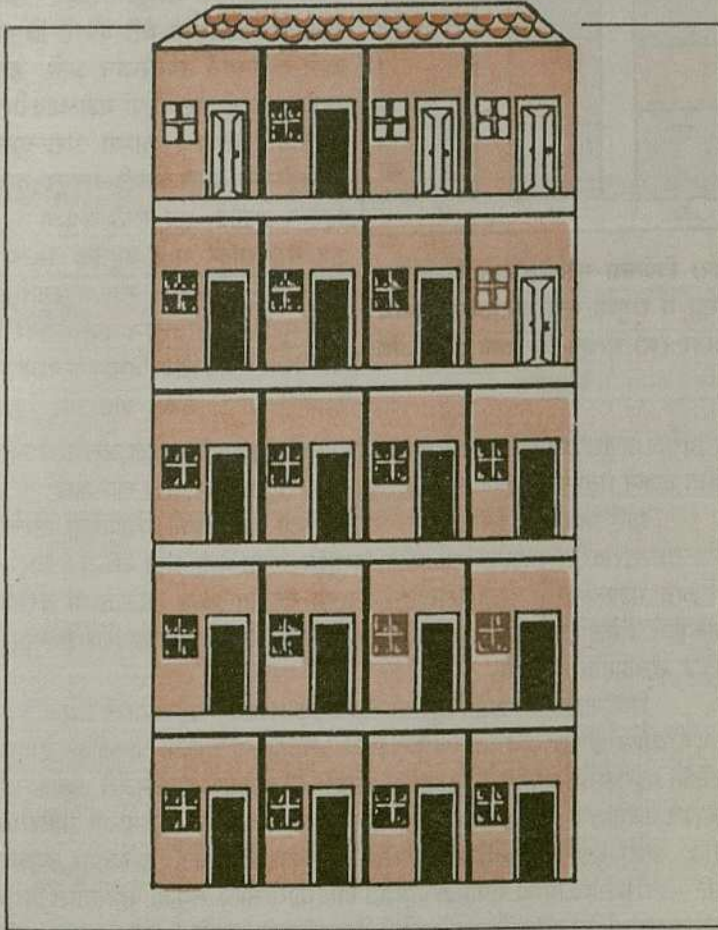
सिरॅमिक्सचा विद्युत विरोधक विजेची झिरप
रोखून धरते

संलग्नेतवर अवलंबून असते, विद्युत वाहकता किंवा विद्युत वहनाची क्षमता ही विद्युत विरोधाच्या व्यस्त प्रमाणांत असते. म्हणजेच पदार्थातील अणूंचा विद्युत विरोध जेवढा जास्त तेवढी इलेक्ट्रॉनची हालचाल कमी, ह्या उलट पदार्थातील अणूंचा विरोध जेवढा कमी तेवढ्या अधिक वेगाने इलेक्ट्रॉनची हालचाल होते.

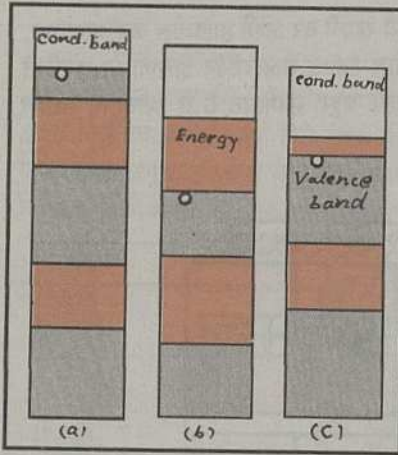
बहुसंख्य परंपरागत सिरॅमिक्सचे पदार्थ हे विजेचे मंद वाहक असल्याने त्यांचा विद्युत विरोधक म्हणून पूर्वीपासून वापर केला जातो, ह्या मंद वाहकतेचे

कारण पदार्थातील अणूंच्या एकमेकांतील संलग्न अणुबंधावर अवलंबून आहे. धातूंच्या बाबतीत, अणूशी संलग्न इलेक्ट्रॉन हे प्रत्येक अणूशी स्वतंत्र रित्या जखडलेले नसतात, ह्या उलट सिरॅमिक्सच्या पदार्थांत आयने किंवा सहसंयुगी बंध असल्यामुळे इलेक्ट्रॉन हे प्रत्येक अणूशी दृढरीतिने जखडलेले असतात, त्यामुळे सिरॅमिक्स मधील इलेक्ट्रॉन हे स्वैरपणाने हालचाल करू शकत नाहीत किंवा धातूमधील इलेक्ट्रॉन विद्युतभार वाहून नेऊ शकत नाहीत, इलेक्ट्रॉन हे उत्तुंग इमारतीतील वेगवेगळ्या मजल्यावरील स्वतंत्र कोठडींमध्ये राहणारे रहिवासी अशी कल्पना करता प्रत्येकाला प्रदान केलेली कोठी ही त्या इलेक्ट्रॉनच्या वैयक्तिक प्रकृतीमानाप्रमाणे म्हणजेच त्यांच्यातील ऊर्जेनुसार असते, असे समजू या कीं सर्वांत जास्त उर्जाधारक इलेक्ट्रॉनना इमारतीमधील सर्वात वरच्या मजल्यावर कोठी दिली आहे व कमी ऊर्जा असणाऱ्यांना तळमजला प्रदान केला आहे, अर्थात हे इलेक्ट्रॉन विद्युतक्षेत्र निर्माण झाल्यावर आपली अंगभूत ऊर्जा

देऊन किंवा दुसऱ्याकडून घेऊन इमारतीमध्ये खाली वर अशी हालचाल करू शकतात, आपली जागा बदलू शकतात, इमारतीमधील एकाच मजल्यावर असणाऱ्या कोठीची उर्जा सारखीच असते. शास्त्रीय भाषेत ह्याला 'पट्टा' म्हणतात व ते इलेक्ट्रॉन मधील ऊर्जा दर्शक स्थितिशी निगडीत असतात.



बहुमजली इमारतीत रिकामी खोली नाही पर्यायाने हालचालही नाही.



(अ) विजेच्या सुसंवाहनासाठी संवाहक पट्टा व संयुजा पट्टा ह्यामधील ऊर्जेचे अंतर (ब) विद्युत विरोधक (क) अर्ध संवाहक

घनपदार्थात अशा पट्ट्यांचे अस्तित्व असते. ह्यापैकी फक्त दोन प्रकारच्या पट्ट्यांचाच विद्युत गुणधर्मावर परिणाम होतो. ते म्हणजे ज्यांत सर्वात अधिक ऊर्जा असते असा संवाहक पट्टा व त्या खालोखाल ऊर्जा असणारा संयुजा पट्टा. ह्या नांवावरूनच लक्षांत येते की हे विद्युत वहन करण्याचे उगमस्थान आहे. ह्या सर्वोच्च ऊर्जा असणाऱ्या मजल्यावरील बहुतेक खोल्या रिकाम्या असल्याने इलेक्ट्रॉनना प्रवासासाठी भरपूर वाव दिलेला असतो. ह्या उलट संयुजा पट्टा, ह्या मजल्यावर मात्र बहुतेक खोल्या भरलेल्या असतात. ह्या पट्ट्यातील अणूंमधील इलेक्ट्रॉन एकमेकांशी बदलीच्या रूपांत किंवा विभागणी पद्धतीने आपली कोठी बदलू शकतात. ह्या

स्तरावरील अणूंमधील इलेक्ट्रॉनची दुसऱ्या अणूंमधील इलेक्ट्रॉन बदल असणारी ओढ माहित करून घेता येत असल्यामुळे ह्या पट्ट्याला संयुजा पट्टा असे नांव आहे.

धातू सारख्या सुसंवाहकांत संयुजा पट्टा हा अर्धवट व्यापलेला असतो किंवा उच्चस्तरावरील संवाहक पट्टा हा सहजसाध्य करता येतो. धातू मधील इलेक्ट्रॉन हे एकाच मजल्यावरील एका कोठीतून दुसऱ्या कोठीत किंवा नजिकच्या वरच्या मजल्यावर सहजरित्या पोहोचू शकतात. ह्या दोन्ही गोष्टी सहजसाध्य असल्यामुळे धातू हे सुसंवाहक असतात.

सिरॅमिक्स सारख्या विद्युत विरोधक किंवा अर्धसंवाहकामध्ये संयुजा पट्टा हा पूर्ण व्याप्त असतो. विद्युत संवाहनासाठी इलेक्ट्रॉनना वरच्या पातळीवर म्हणजे संवाहक पट्ट्यापर्यंत पोहाचणे आवश्यक असते. दुर्दैवाने इथे दोन मजले उद्वाहानाने जोडलेले नसतात व वरच्या मजल्यावर जाण्यासाठी तेवढी उंच उडी मारणे आवश्यक असते. अशा तऱ्हेने संवाहक पट्ट्यांमध्ये संवाहनासाठी एकही इलेक्ट्रॉन उपलब्ध नसतो. अर्धसंवाहकांमध्ये संवाहक पट्ट्यांत पोहोचण्यासाठी संयुजा पट्ट्यातील विद्युत विरोधक पदार्थातील इलेक्ट्रॉन इतक्या ऊर्जेची आवश्यकता नसते. व संवाहक पट्ट्यांपर्यंत पोहोचण्या इतपत ऊर्जा कांही इलेक्ट्रॉन मध्ये उपलब्ध असते. ह्या अर्धसंवाहका मध्ये देखील संयुजा पट्टा व संवाहक पट्टा जोडणारे उद्वाहन नसते परंतु त्यांना जोडणारा

जिना उपलब्ध असल्याने थोड्याच जास्त ऊर्जेची जरूरी असते, विद्युत विरोधकांतील इलेक्ट्रॉनना संयुजा पट्टा ते संवाहक पट्टा ह्या प्रवासासाठी मोठ्या प्रमाणांत ऊर्जेची जरूरी असते, अर्धसंवाहकांत ही जरूरी मध्यम स्वरूपाची व धातूध्ये अशा ऊर्जेची आवश्यकता नसते, संयुजा पट्टा ते संवाहक पट्टा ह्या दरम्यानच्या ऊर्जेला ऊर्जेतील अंतर किंवा पट्ट्यातील अंतर असे म्हणतात. हे पट्ट्यातील अंतर प्रत्येक पदार्थाचे वैशिष्ट्य असून त्यानुसार त्या पदार्थाची संवाहकता माहीत होते. हे अंतर जेवढे कमी तेवढा तो पदार्थ अधिक सुसंवाहक असतो.

कांही पदार्थातील सुसंवाहकता

Material	Electrical Conductivity (mhom ⁻¹)
Silver	6.3×10^7
Copper	5.88×10^7
Gold	4.25×10^7
Aluminium	3.5×10^7
Steel	1×10^7
Graphite	$\sim 10^5$
Silicon	5×10^{-4}
Window glass	2×10^{-5}
Bakelite	2×10^{-10}
Mica	$\sim 10^{-15}$
Diamond	$\sim 10^{-12}$
Porcelain	$\sim 10^{-12}$

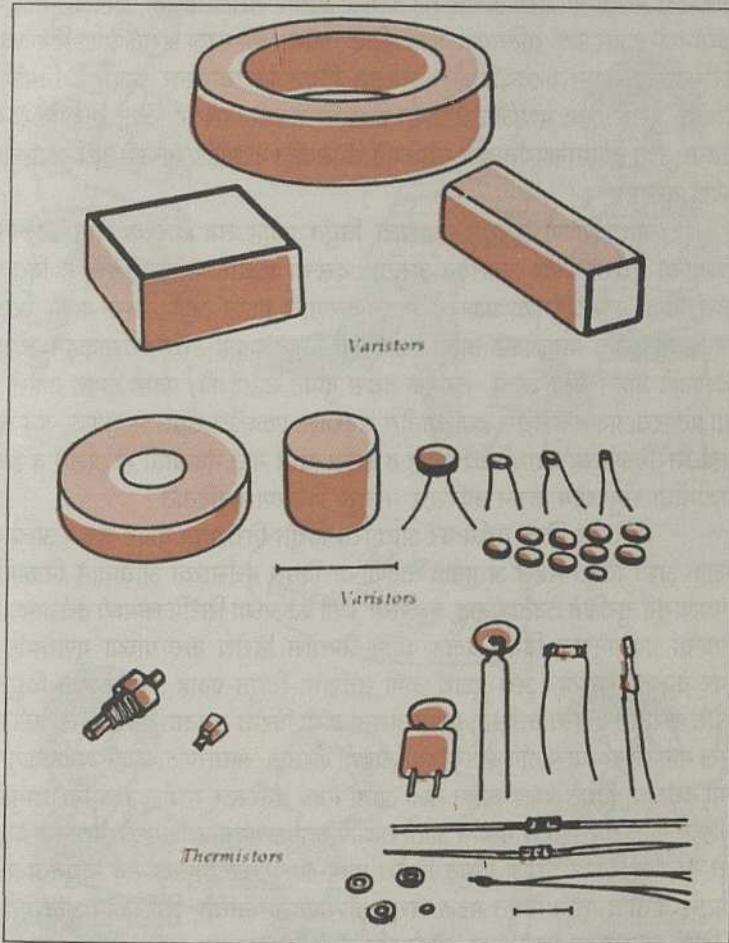
अशा तऱ्हेने धातूंमध्ये एकाच नमुन्याची परंतु सिलिकॉन ह्या अर्धसंवाहका पेक्षां लाखोपटीने जास्त संवाहकता असते, तर अभ्रक किंवा हिऱ्या सारख्या विद्युत विरोधकांमध्ये अर्धसंवाहकाच्या लाखोपटीने कमी संवाहकता असते.

ज्या प्रमाणांत सिरॅमिक्स मधील विद्युत विरोधत्व वाढलेले असते त्या प्रमाणांत त्याच्या संवाहनासाठी अनुकूल असणाऱ्या पट्ट्यांमधील दरी रुंदावत जाते. तथापि सिरॅमिक्सच्या पदार्थात ज्या प्रकारच्या विद्युत गुणधर्माची आवश्यकता आहे त्या प्रमाणांत त्यांच्या पट्ट्यातील अंतर घडवून-योजून नियंत्रित करता येते. त्यासाठी त्यांच्यातील घटक पदार्थांमध्ये किंवा त्यातील अणूंच्या मांडणीत म्हणजेच पर्यायाने स्फटिकी संरचनेत बदल करावा लागतो. उदाहरणार्थ निकेल ऑक्साईड हे पूर्णतः विद्युत विरोधक आहे. ह्यामध्ये असणारे धातू व ऑक्सीजनचे गुणोत्तर बदलून म्हणजेच निकेल ऑक्साईड हा अत्यंत शुद्ध पदार्थ समजला तर थोड्या प्रमाणांत निकेल धातू 'कचरा' म्हणून मिसळला तर त्याची परिणामी संवाहकता किंवा संवाहक पट्ट्यातील अंतर कमी होते व हा पदार्थ थोडासा संवाहक बनतो. अशा पदार्थाला अर्ध संवाहक म्हणतात. ह्या उलट झिंक ऑक्साईड हा अर्धसंवाहक म्हणून परिचित आहे. त्यामध्ये कांही अपद्रव्ये मिसळल्यामुळे तो धातू सारखा सुसंवाहक बनतो. अशा तऱ्हेने विद्युत विरोधक व विद्युत सुसंवाहक ह्यांचे योग्य मिश्रण केल्यास उपयोजित वर्चसानुसार त्याची विद्युत वाहक शक्ती बदलता येते.

लहानग्याचे श्रेष्ठत्व :

कांहीं सिरॅमिक्स पदार्थातील प्रक्रीयांत कमी विद्युत वाहकतेचा समप्रयोग करून त्यांचा अनेक उपयोगांसाठी वापर केला जातो. त्यामध्ये वर्चस दाबाचे नियंत्रित लघुकरण (विद्युत विरोधक) विद्युत ऊर्जेचे उष्णता शक्तीत रूपांतरण (तापन घटक); तापन नियंत्रित विद्युत विरोधक (थर्मिस्टर) व वर्चसदाब नियंत्रित विद्युत विरोधक (व्हेरीस्टर) किंवा एकदिक कारक अशांचा अंतर्भाव करता येईल.

उदाहरणार्थ, इलेक्ट्रॉनिक उपकरणांमध्ये उपयुक्त अशा विद्युत विरोधासाठी (ज्या मधून नियंत्रित विद्युत प्रवाह नेला जातो) विरोधाची पातळी 90^3 ते 90^6 ओहम ह्या दरम्यान असावी लागते. ह्या शिवाय तापमानावरील फरकानुसार विद्युत विरोध न वाढणे जरूरीचे असते कारण छोटी छोटी विद्युत मंडले तापमानांतील थोड्याशाही फरकाने गरम होऊन निकामी होण्याची शक्यता असते. ह्या करिता विद्युत विरोधक पदार्थ पायाभूत म्हणून वापरून त्यावर टिन ऑक्साईड सारख्या अर्धवाहकाचा पातळसा मुलामा देतात. अशा उपकरणातील विद्युत विरोध मुलाम्याची लांबी, रूंदी, जाडी ह्यावर अवलंबून असतो. ह्या उलट ज्या उपकरणांमध्ये तापमानातील लहानशा फरकाचाही निर्देश होणे आवश्यक आहे अशा ठिकाणी बद्ध विद्युत विरोध असणाऱ्या थर्मिस्टरचा किंवा तापमानातील लहानशा फरकाने विद्युत विरोधांत लक्षणीय बदल होईल अशा सिरॅमिक्स पदार्थाचा वापर करतात. आयर्न ऑक्साईड, कथिल किंवा मॅग्नेशियम क्रोमेट अशा सिरॅमिक्सच्या मिश्रणांचा वापर तापमान मोजण्यासाठी करतात.



सिरॅमिक्सचे विविध प्रकारचे संवेदक - व्हेरिस्टर आणि थर्मिस्टर

पदार्थातून विद्युत प्रवाह नेल्यास तो पदार्थ गरम होतो. विजेच्या प्रवाहास होणाऱ्या विरोधानुसार पदार्थ कमी अधिक प्रमाणांत गरम होतो. अशा तऱ्हेने सुसंवाहक ज्यांत विद्युत विरोध अत्यंत कमी असतो ते कमी तापतात. ह्या उलट ज्या पदार्थाला विद्युत वाहनांस तीव्र विरोध होतो असे विद्युत विरोधक अधिक गरम होतात. इलेक्ट्रीकची इस्त्री, विजेची किटली व विजेवर चालणारी भट्टी अशा उपकरणांत तारांमधून विद्युत

प्रवाह नेला असतां त्या गरम होतात, ह्या तत्वाचा उपयोग केलेला असतो. कारखान्यांतील भट्ट्यांमध्ये हजार अंश सेल्सियस पेक्षा अधिक तापमानाची गरज असते अशा ठिकाणी सिरॅमिक्सचा तापन घटक वापरून त्याच्या विद्युत विरोधानुसार तापमान निर्माण करतात. दुसरी गोष्ट म्हणजे त्या तापन घटकांचे सहजी विलयन किंवा ऑक्सीडेशन एवढ्या उच्च तापमानापर्यंत होत नसल्याने सिलिकॉन कार्बाईड सारखी अर्ध संवाहके आदर्श ठरतात.

साधारणपणे तारेतून वाहणारा विद्युत प्रवाह त्या तारेच्या दोन टोकांत असणाऱ्या वर्चसांतरावर अवलंबून असतो. दुसऱ्या शब्दात सांगायचे तर हे विद्युत वर्चस किंवा व्होल्टेज एक प्रकारचे विद्युतीकरणाचे मापन आहे. जसे पाणी उच्च पातळीकडून नीच पातळीकडे वाहते त्याप्रमाणे विद्युत प्रवाह उच्च वर्चसाकडून कमी वर्चसाकडे वाहून नेला जातो. त्यामुळे वर्चस दुप्पट केला की, प्रवाह दुप्पट वाहतो. ह्या प्रकारचा प्रवाह व वर्चस ह्यांच्यातील संबंधाला एकघाती संबंध म्हणतात. तथापि कांहीं सिरॅमिक्सच्या पदार्थांमध्ये प्रवाह व वर्चस ह्यांचे नाते नैकघाती ही असते व ह्या गुणधर्माचा समुपयोग करून व्हेरिस्टर नांवाचे उपकरण बनवितात.

व्हेरिस्टर किंवा वर्चस वर आधारित विद्युत विरोधाचा वापर करून अत्यंत नाजूक अशी विद्युत मंडले अचानक वाढणाऱ्या विद्युत वर्चसाच्या आघाताने निकामी होण्यापासून सुरक्षित ठेवता येतात. बदलत्या अशा प्रकारच्या सिरॅमिक्समध्ये वर्चसामध्ये होणाऱ्या बदलानुसार विद्युत प्रवाह वाहून नेण्यास विरोध करण्याच्या गुणधर्माचा वापर केलेला असतो. असे पदार्थ कमी वर्चसचा विद्युत प्रवाह असतां तीव्र विद्युत विरोध करतात व उच्च वर्चसचा प्रवाह असतां कमी विरोध करतात. विद्युत मंडलातील प्रमुख मार्गाला पर्यायी मार्गाने व्हेरिस्टरची जोडणी करतात. साधारणतः जेव्हा उपकरणातून कमी वर्चसचा विद्युत प्रवाह वाहून नेला जातो तेव्हा व्हेरिस्टर मधील उच्च विरोधामुळे प्रवाह न नेला जाता मुख्य मार्गाने जातो तथापि ज्या क्षणाला वर्चसमध्ये अचानक वाढ होते तेव्हा व्हेरिस्टर मधील विद्युत विरोध कमी झाल्यामुळे बहुतेक सर्व विद्युत प्रवाह त्यातून जातो व मुख्य विद्युत मंडळ खराब होण्यापासून वाचते. सिलिकॉन ऑक्साईड व झिंक ऑक्साईड मध्ये इतर ऑक्साईड पदार्थांचे अपद्रव्य भरून उत्तम प्रकारचा व्हेरिस्टर बनवितात.

आयनांचे वहनीकरण

सिरॅमिक्स मध्ये पट्ट्यांमधील अंतर (फट) खूपच जास्त असल्याने इलेक्ट्रॉन संवाहक पट्ट्यांपर्यंत उड्डाण करून वहनाचे कार्य उच्च तापमानांसही करू शकत नाहीत तथापि कांहीं सिरॅमिक्सच्या पदार्थांतील विद्युत भारित अणू किंवा अणूंचे गट ज्यांना आयन म्हणून संबोधले जाते ते उच्चतापमानांस स्वयंचलित होतात. व विद्युत भार पदार्थांच्या एका टोकापासून दुसरीकडे नेऊ शकतात. अशा प्रकारच्या विद्युत वहनांस



I ONLY move
When things get
hot



‘आयनीय वहन’ म्हणतात. अशा तऱ्हेच्या विद्युत वहनामुळे नव्या पद्धतीच्या विजेरी मध्ये किंवा विविध प्रकारच्या संवेदकामध्ये परिपूर्णता आणणे शक्य झाले. उदाहरणार्थ, बीटा अॅल्युमिना ($\text{Na}_2\text{O} \cdot 11\text{Al}_2\text{O}_3$) ह्या मधील स्वयंचलित सोडियम आयनांमुळे सोडियम सल्फरची विजेरी परिपूर्ण बनण्यास अत्यंत उपयोग होतो. अशी विजेरी सर्व सामान्य विजेरीपेक्षा अधिक सक्षम असल्याने विद्युत स्वयंचलित मोटारीमध्ये तिचा वापर करतात. नेहमीच्या वापरातील कथिल आम्ल विजेरीपेक्षा अशी सोडियम सल्फर विजेरी वाहनामध्ये तीन पटीने अधिक उपयोगी पडते.

संवेदक :

सिरॅमिक्सचा आणखी एक आकर्षक उपयोग म्हणजे आर्द्रता व वायू संवेदक होय. संवेदक हे अविद्युतीय संदेशांचे विद्युत संदेशात रूपांतर करणारे उपकरण आहे. संवेदक म्हणजे विशिष्ट अशी संचिद्ध व पातळ खास सिरॅमिक्सची चकती असून ती ठराविक वायूला किंवा पाण्याच्या बाष्पास अनावृत्त होतांच त्यातील विद्युत विरोधांत बदल होतो. ह्याचे मुख्य कारण म्हणजे वायू किंवा पाण्याच्या रेणूंच्या विघटनाने बनणारी आयने विद्युत वहनाचे कार्य करतात व अशा आयनांची एका स्थानापासून दुसऱ्या स्थानापर्यंत होणारी हालचाल विद्युत विरोध कमी करते. टिटॅनियम ऑक्साईड व मॅग्नेशियम क्रोमेटचे मिश्रण आर्द्रता संवेदक बनविण्यासाठी नेहमी वापरले जाते.

ह्या उलट वायू संवेदक हे बहुधा टिन ऑक्साईड, झिंक ऑक्साईड, आयर्न ऑक्साईड, टिटॅनियम ऑक्साईड, सिल्वर ऑक्साईड अशा अर्धसंवाहकांपासून बनवतात. त्यांच्यातील बहुसंख्य संवेदके पाण्याच्या बाष्पाबाबत संवेदक असल्याचे 350° सेल्सियस तापमानापेक्षा उच्च तापमानांस वापरली जातात. लॅथनम व स्ट्रॉशियमच्या फ्लोराईडचे मिश्रण हे पिण्याच्या पाण्यातील फ्लोराईडचे अंश बोधन करण्यासाठी वापरतात. स्टॅबिलाईज्ड झर्कोनिया (CSZ) हा स्वयंचलित वाहनातून बाहेर प्रक्षेपीत केलेल्या वायूचे बोधन करण्यासाठी वापरतात.

दाब देऊन विद्युत प्रवाह निर्मिती

दाब विद्युतीकरण हे कांही सिरॅमिक्सच्या पदार्थांचा विशेष गुणधर्म आहे. क्वार्टझ व रॉचेल सॉल्ट (सोडियम पोटॅशियम ट्राईट्रूट) सारख्या स्फटिकांमध्ये आढळणाऱ्या ह्या विशिष्ट गुणधर्माचा १८७७ मध्ये पियरे (१८५६-१९०६) व जॅकीस क्युरी ह्या दोन फ्रेंच वैज्ञानिक बंधूंनी शोध लावला. अशा स्फटिकाच्या एका विशिष्ट दिशेला तुम्ही दाब दिला असता ते विद्युत भारित होतात व त्यांना उलट बाजूने खेचले किंवा ताणले की त्यांच्या विद्युत भाराची अदला बदल होते. अशा तऱ्हेने दाब देऊन व ताणून त्या पदार्थांमध्ये प्रत्यावर्ती प्रवाह निर्माण करता येतो. एवढेच नव्हे तर योग्य कंपनाचा

प्रत्यावर्ती प्रवाह तुम्ही वापरला तर अशा स्फटिकांमध्ये आकुंचन वा प्रसरण होते.

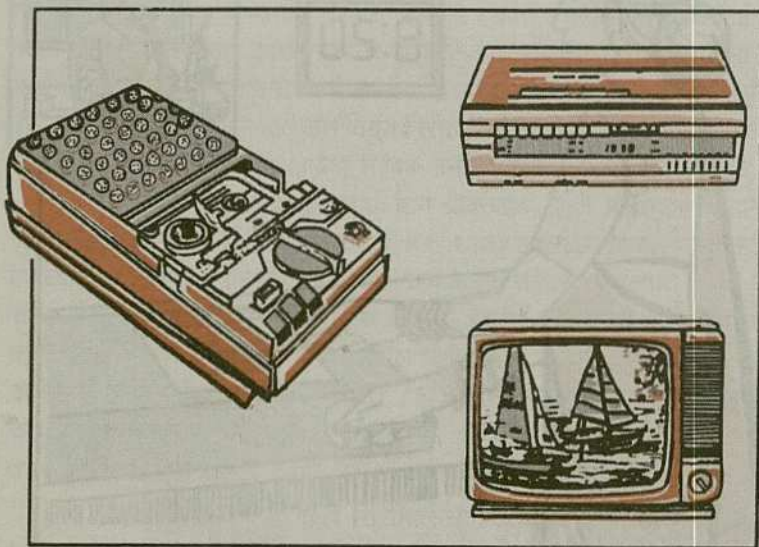
बेरियम टिटॅनेट सारखे सिरॅमिक्स पदार्थांच्या स्फटिकावर दाब देऊन, वाकवून किंवा त्यांना पिरगळून त्यांच्यांत सहजतेने यांत्रिक विकृती निर्माण केली असता विद्युत दाबाची निर्मिती होते किंवा ह्या उलट प्रकार निर्माण करता येतो. कित्येक हजार व्होल्ट इतका विद्युत दाब अशा प्रकाराने तयार करतां आल्याने स्वयंपाकाची शेगडी, सिगरेट लायटर किंवा वायू लायटर मध्ये अग्नी निर्माण करण्यासाठी ठिणगी पाडण्याकरिता करतात. दाब विद्युत पदार्थ हे यांत्रिकी कंपनी शोधण्यासाठी किंवा श्राव्यातील कंपनी निर्मितीसाठी उपयोगी पडते. त्यामुळे रेडिओ संचारणासाठी त्यांचा वापर करतात.



पिचरे क्युरी (आंतील चौकटीत) ह्याने दाब विद्युती करणाचा लावलेला शोध आता गृहोपयोगी उपकरणात वापरला जातो.

आकर्षक उपयोग :

सिरॅमिक्स मध्ये आणखी एक प्रकार फेराईट नांवाने ओळखला जातो. तो विविध उद्योग धंद्यांचा मुख्य आधार आहे. फेराईट म्हणजे लोखंड व इतर धातूंच्या ऑक्साईडचे मिश्रण असून त्यांत चुंबकीय गुणधर्म असतात. फेराईट मध्ये चुंबकीय गुणधर्म असून देखील ते विजेचे मंदवाहक असल्याने कांहीं विशिष्ट उपयोगांसाठी ते धातूच्या चुंबकापेक्षा अधिक लाभदायक असतात. मुख्यतः रोहित्रामध्ये (व्होल्ट वाढवण्यासाठी किंवा कमी करण्यासाठी), संघटक बनविण्यासाठी, विद्युत भार साठवण्यासाठी, दूर संदेश वहनातील रेडिओ लहरींचे सूक्ष्मतरंगी उपकरणासाठी, कॉंप्युटर मधील स्मरण प्रयुक्तीसाठी, ध्वनी मुद्रिकांसाठी तसेच ध्वनी वर्धक, मोटार, जनित्र, मोजमाप यंत्रे इत्यादि उपकरणांमध्ये कायम स्वरूपी चुंबक बनविण्यासाठी फेराईटचा वापर होतो.



फेराईट हा चुंबकीय सिरॅमिक्सचा प्रकार द्रव श्राव्य उपकरणांत वापरला जातो

हा प्रकारच्या सिरॅमिक्समधील अणू रचनेमध्ये चुंबकत्वाचा उगम असतो. त्यामुळे तांत्रिक दृष्ट्या उपयुक्त फेराईट बनविताना त्यांचे मिश्रण व त्यांची सूक्ष्मदर्शी रचना नियंत्रित करणे अत्यावश्यक असते. औद्योगिक दृष्ट्या महत्वाचे फेराईट

म्हणजे मिश्र फेराईट, उदाहरणार्थ, मॅगनीज, जस्त किंवा निकेल जस्त फेराईट, ह्यांना मृदू फेराईट म्हणतात कारण ते सुलभतेने चुंबक किंवा निकर्षक करता येतात, अशा फेराईट मधील चुंबकत्वाचा रेडिओ लहरी संदेशांशी होणारा आंतर संबंध हा अंशतः चुंबकीय व अंशतः विद्युतीय स्वरूपाचा असल्याने सूक्ष्मतरंगी उपकरणांमध्ये मृदू फेराईट खूप उपयुक्त ठरतात. आकाशकाची काठी, रेडिओ उद्योगातील आंदोलक, टी. व्ही. चे संघटक व दूर संदेश वहन उद्योगातील उच्च कंप्रता व उच्च शक्तीचे रोहित्राचा अंतरक बनविण्यासाठी फेराईट प्रामुख्याने उपयोगी पडते. फेराईटचा दुसरा प्रकार म्हणजे कठीण फेराईट. त्यांच्यात कायम चुंबकत्व असते. ध्वनीवर्धक व मोटार



ध्वनीग्राहकामध्ये देखील चुंबकीय सिरॅमिक्सचा वापर होतो

बनविण्यासाठी त्यांचा वापर करतात. लोखंड व बेरियम किंवा स्ट्रॉशियम ह्यांच्या मिश्र ऑक्साईड पासून असे कठीण फेराईट बनवितात.

जर सिरॅमिक्सला आगामी माहिती युगाचा पदार्थ संबोधण्यात येत असेल तर त्याचे प्रमुख कारण म्हणजे सिरॅमिक्स मधील वैविध्यपूर्ण अशा विद्युतीय व चुंबकीय गुणधर्मांमुळेच होय. आवश्यक ती जडण घडण करून संदेश वहनाच्या माहितीसाठी अशी अत्याधुनिक, सुटसुटीत, जास्त किफायतशीर व स्वस्त उपकरणांची निर्मिती पूर्ण करण्यासाठी सिरॅमिक्सच्या पदार्थांचा पाठपुरावा करणे जरूर आहे.



नवा अतिसंवाहक



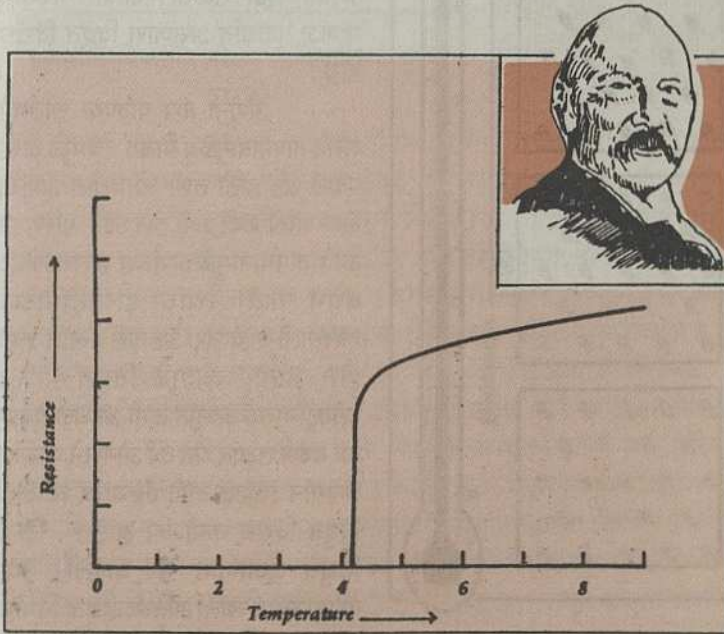
इ.स. १९८६ मध्ये झुरीच मधील आय. बी. एम च्या प्रयोगशाळेत काम करणाऱ्या दोघा शास्त्रज्ञांनी एक आश्चर्यकारक शोध लावला. जॉर्ज बेडनोर्झ (१९५०-) व अलेक्स म्यूलर (१९२७-) ह्यांनी असे निदर्शनांस आणले की जे सिरॅमिक्स मुख्यतः विद्युत विरोधक म्हणून ओळखले जाते ते उत्तम संवाहक नव्हे तर अतिसंवाहक करता येते. त्यांनी आणखी जास्त लाभांशाची गोष्ट जाहीर केली की त्यांनी निर्माण केलेले सिरॅमिक्स हे अधिक उच्चतापमानांसही अतिसंवाहक आहे. आधीच्या काळांत जे अतिसंवाहक होते त्यांच्या तुलनेने उच्चतापमानांस ह्या सिरॅमिक्स मधील विद्युत विरोध शून्याप्रत जातो.

ह्या शोधामुळे वैज्ञानिक जगांत एक कुतुहल निर्माण झाले. त्याचे कारण केवळ अनपेक्षित अशा सिरॅमिक्स सारख्या विद्युत मंदवाहकांत अतिसंवाहकता आढळली हा शोध तांत्रिक व औद्योगिक दृष्ट्यादेखील अत्यंत महत्त्वाचा होता. उदाहरणार्थ सर्वसाधारणपणे विद्युत संचारण हे तांबे किंवा अॅल्युमिनियमच्या तारांमधून केले जाते. ह्या मध्ये एकूण विजेच्या एक पंचमांश किंवा एक षष्टांश वीज ह्या संवाहक तारांमध्ये असणाऱ्या अंगभूत विद्युत विरोधास नष्ट करण्यांत वाया जाते. जर अतिसंवाहक पदार्थाची तार वापरली तर खूप विद्युत शक्तीची बचत होईल. शिवाय अतिसंवाहकाचे इतर उपयोग आहेत. ह्या अतिसंवाहकांच्या सहाय्याने आपण रूळावरून आगगाडी नेण्यापेक्षा अधिक अतिजलद वेगाने हवेमधून धावणारी आगगाडी निर्माण करू शकू. छोटे अतिवेगवान काँप्युटर व

अतिशक्तीशाली व अतिचुंबकत्व असणारे चुंबक ह्या गोष्टीही अशा पदार्थापासून नजीकच्या काळांत बनविता येतील.

ओनेसचे भ्रमण

हेक कॅमरलिंग ओनेस (१८५३-१९२६) ह्या डच शास्त्रज्ञाने १९११ साली सर्व प्रथम अतिसंवाहकाचा शोध लावला. तो धातू व इतर पदार्थातील निरपेक्ष शून्य किंवा - २७३° सेल्सियस तापमानांस होणाऱ्या विद्युत वहनाचा अभ्यास करित होता. पदार्थाचे तापमान हळू हळू कमी होतांच पदार्थातील विद्युत विरोध देखील कमी होत जातो असे ओनेसच्या निदर्शनांस आले. सर्वात आश्चर्याची बाब म्हणजे निर्धारित शून्याच्या वर चार अंश किंवा ४ ° केल्विन तापमानास पदार्थातील विद्युत विरोध पूर्णतः नष्ट झाला. हे अगदीच अनपेक्षित होते. ओनेस ह्या बाबत कांहीं कारण मिमांसा जरी देऊ शकला नव्हता तरी ह्या गुणधर्माला त्याने अतिसंवाहकता असें नांव दिले. नंतर इतरही कित्येक पदार्थांमध्ये हाच गुणधर्म आढळला. हा सगळा अनोळखी गुणधर्म म्हणजे इलेक्ट्रॉनच्या जगातला खेळ होता.

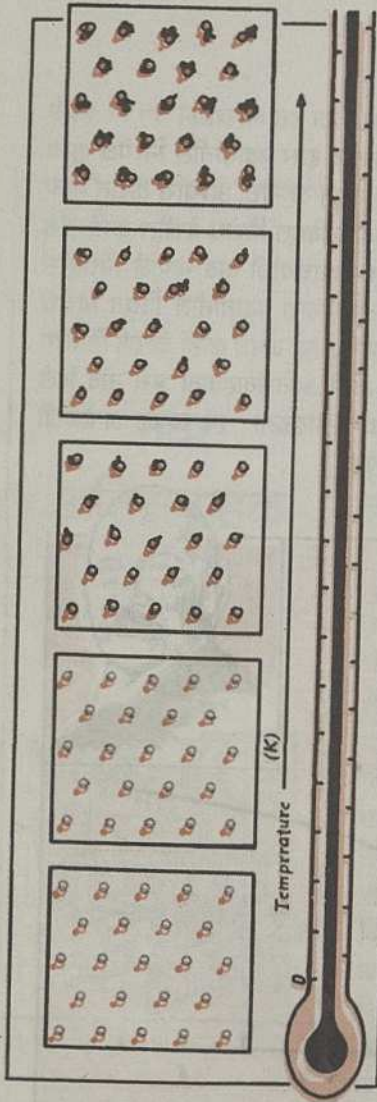


कॅमरलिंग ओनेसने (आंतील चौकट) असे शोधून काढले की पारा निर्धारित ४ अंश ताममानापर्यंत थंड केल्यास अतिसंवाहक बनतो

शीतलता प्रेमी इलेक्ट्रॉन

सर्व साधारणपणे इलेक्ट्रॉनचे पदार्थातील वहन तसे सुलभतेने होत नसते. त्यांना पदार्थातील अणूंच्या प्रतिहल्यास तोंड द्यावे लागते. त्यामुळे ते सतत मागे पुढे असे सरकत असतात. अशा तऱ्हेची अणूमधील कंप पावणारी हालचाल इलेक्ट्रॉनना त्यांच्या मार्गापासून विचलित करतात. किंवा शास्त्रीय भाषेत प्रकीर्णन पावतात. ह्या शिवाय स्फटिक स्थितितील पदार्थांच्या अणूरचनेमध्ये असणारी अंगभूत अशुद्ध द्रव्ये व स्थान भ्रष्टता ह्यांच्यामुळेही इलेक्ट्रॉनांच्या हालचालींना अडथळा येत असतो. ह्या सर्वांचा एकत्रित परिणाम म्हणजे पदार्थात असणारा विद्युत विरोध होय.

अणूंना कंप पावण्या साठीची शक्ती तापमानामुळेच मिळते. त्यामुळे जसा पदार्थ थंड होतो तशी त्यामधील अणूंची कंपनशक्ती कमी कमी होत जाते. परिणामी कमी तापमानामुळे अणूंच्या हालचालीवर बंधन पडते. त्यांचा इलेक्ट्रॉनांच्या हालचालींना होणारा अडथळा देखील कमी होत जातो. त्यामुळे विद्युत भारित इलेक्ट्रॉनांच्या वहनांत कमी अडथळे येतात. ह्या वरून लक्षांत येते की ओनेसने पाऱ्याचे तापमान हळूहळू कमी केल्यावर त्यातील विद्युत विरोध कमी कां झाला? किंवा विद्युत संवाहकता कां वाढली. ज्या तापमानाच्या खाली अतिसंवाहकता निर्माण होते त्या तापमानांस सीमांत तापमान म्हणतात. हे पदार्थानुसार बदलत असते.



पदार्थास उष्णता दिली असता त्यातील रेणूंचे कंपन अधिक वेगाने होते



चुंबकाने विकर्षित होऊन अतिसंवाहक हवेत तरंगतो

ह्या अतिसंवाहकांचा आणखी गुणधर्म म्हणजे ते चुंबकाला विकर्षित करतात. जर्मन शास्त्रज्ञ वॉल्टर माईसनर (१८८२-१९७४) ह्याने ह्या गुणधर्माचा शोध १९३३ मध्ये लावला. अर्थात ह्या गुणधर्माला माईसनर परिणाम असे नांव दिले गेले. पदार्थ अतिसंवाहक आहे की नाही ह्याची परिक्षा करण्याकरिता त्याचा वापर केला जातो. अतिसंवाहकातील शून्य विद्युत विरोध व माईसनर परिणाम ह्यांची अत्यंत मूलगामी कामासाठी निवड करता येईल. तथापि ते दिवास्वप्नच ठरले

आहे. कारण ह्या अतिसंवाहके- साठीचे सीमांत तापमान खूपच कमी असते. व तेवढे कमी तापमान साध्य करणे व टिकवून ठेवणे ही फार खर्चिक बाब आहे.

बेडनोर्झ व म्यूलननी अतिसंवाहक सिरॅमिक्सचा शोध लावताच वस्तुस्थिति खूपच बदलून गेली आहे. त्यांना असे आढळून आले की लॅथेनम, बेरियम व तांबे ह्यांचे ऑक्सिडचे मिश्रण अतिसंवाहक बनते. व त्यासाठीचे सीमांत तापमान 35° केल्विन म्हणजे तोपर्यंत ज्ञान असलेल्या कोणत्याही अतिसंवाहकापेक्षा खूप उच्च आहे. ह्या मिश्रणामध्ये एक अणू तांब्याचा, चार पेक्षा थोडेसे कमी इतके ऑक्सीजनचे अणू व थोड्याशा बेरियमच्या अणूसह लॅथेनमचे एकूण दोन अणू बनतील असे $(La_{2-x}Ba_xCuO_{4-x})$ स्वरूप होते. बेडनोर्झ व म्यूलर ह्यांनी फक्त बेरियमचे प्रमाण क्रमाक्रमाने अत्यंत स्वल्प प्रमाणांत बदलून इतर दोघांचे प्रमाण कायम ठेवून एक मालिका बनविली व त्यातून योग्य घटकांचे एक अतिसंवाहक सिरॅमिक्स बनविले. नंतरच्या कालावधीत ह्या पेक्षाही उच्च सीमांत तापमानाची अशाच प्रकारची अतिसंवाहक सिरॅमिक्सची संयुगे बनविली गेली. ह्या पैकी सुप्रसिद्ध असे संयुग संयुक्त अमेरिकन संस्थानातील ह्युस्टन विद्यापीठातील प्रा. सी. डब्ल्यू. चू व त्यांच्या सहकाऱ्यांनी यिट्रियम, बेरियम व तांब्यापासून बनविलेल्या $(YBa_2Cu_3O_{7-x})$ अति संवाहक संयुगाचे सीमांत तापमान 93° केल्विन आहे. हे तापमान देखील कोठी तापमानापेक्षा खूप कमी



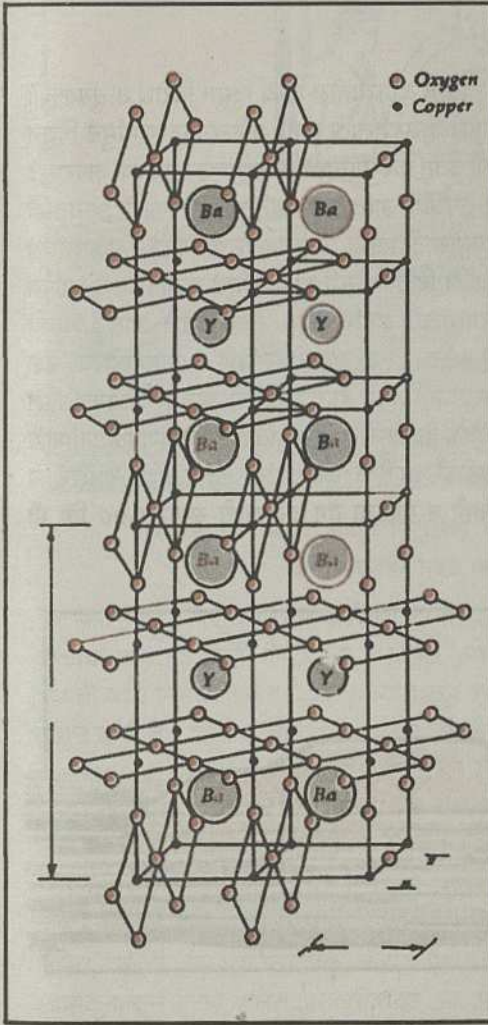
अॅलेक्स म्यूलर व जॉर्ज बेडनोझ

आहे. तथापि ते द्रव नायट्रोजन पेक्षा अधिक असल्यामुळे एवढे तापमान निर्माण करणे व स्थिर ठेवणे कमी खर्चात होऊ शकते.

अतिसंवाहक निर्मितीच्या नव्या कृती

ह्या उच्चतापमानाच्या अतिसंवाहक बनविण्याची पद्धत रूढ पद्धतीप्रमाणेच आहे. प्रत्येक धातूचे अलग अलग ऑक्साईड योग्य प्रमाणांत मिसळून खलबत्यांत खलून 9000° सेल्सियस तापमानास $90-92$ तास तापविले, तेव्हां घनस्वरूपात रासायनिक प्रक्रीया होऊन त्यांचे एका संमिश्र ऑक्साईड मध्ये रूपांतर झाले. ह्या संमिश्रातील अतिसंवाहकता त्यातील घटक अणूंच्या विशिष्ट रचनेमुळेच साध्य होते. उदा. $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ ह्या संयुगातील क्षितीजाशी समांतर असे लागोपाठचे तांबे व ऑक्सीजनचे थर हे रिबिनी सारख्या तांबे व ऑक्सीजनच्या पातळ पट्ट्यांच्या सांखळीने वेगळे केलेले असतात. तांबे व ऑक्सीजन ची चौरसाच्या आकाराची पट्टी हाच संयुगातील इलेक्ट्रॉनांच्या अतिसंवाहनाचा मार्ग आहे व ह्या रचनेतील थोडासा फेरफार सुद्धा त्यांच्या मार्गक्रमांत अडथळा निर्माण करून त्यांची अतिसंवाहकता नष्ट करतो. म्हणूनच अतिसंवाहक सिरॅमिक्स बनविणे ही उत्कंठा वाढवणारी कृती आहे.

सिरॅमिक्सच्या निर्मितीच्या पारंपारिक पद्धतीमध्ये अति-संवाहकता नसणारी संयुगे बनण्याचीही शक्यता असते कारण घन स्वरूपातील प्रक्रीयां मध्ये मिश्रण समप्रमाणांत सर्वत्र मिसळले जात नाही. इच्छित असे एक अतिसंवाहक संयुग बनविण्यासाठी त्यांच्यातील अणूंचे प्रमाण अत्यंत अल्पप्रमाणांत बदलावे लागते म्हणजेच धातूच्या ऑक्साईड पासून बनणारे संयुगामध्ये अपूर्ण प्रक्रीया व असमान मिश्रण असते. इच्छित



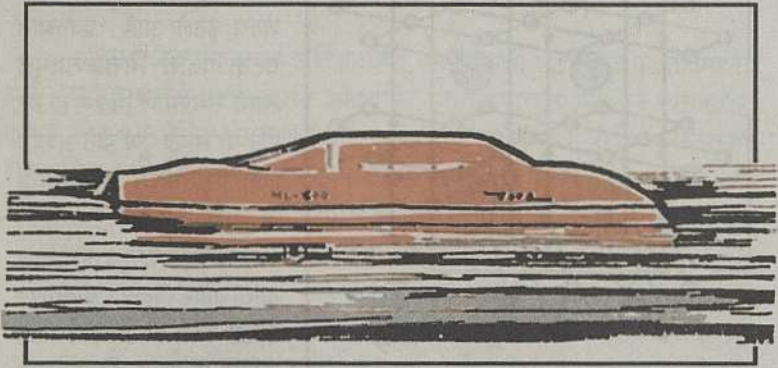
$YBa_2Cu_3O_{7-y}$ स्फटिकातील जालिका

असे एकच संयुग बनविण्याच्या कार्यवाहीसाठी आपणांस अत्यंत शुद्ध स्वरूपातील संयुग निर्माण करणे जरूर आहे. व अशुद्ध पदार्थापासून अत्यंत शुद्ध अतिसंवाहक संयुग वेगळे करणे ही कृति क्लिष्ट व कंटाळवाणी आहे. दुसरी गोष्ट म्हणजे तयार माल हा सरळ वापरण्यासारख्या तारेच्या किंवा पातळ पत्र्याच्या स्वरूपांत न मिळतां भुकटी किंवा गोळीच्या रूपांत मिळतो. हे दोन्ही दोष प्रक्रियेसाठीचे पदार्थ द्रवरूपांत मिसळून मग प्रकीया करण्यामुळे अंशतः कमी करणे शक्य झाले आहे. द्रवरूपात घटक पदार्थ मिसळण्यामुळे त्यांचे समप्रमाण मिश्रण होऊन प्रक्रिया सहज पूर्ण होते. अशाच एका पद्धतीमध्ये सुरुवातीची संयुगेच बदलली. धातूची अल्कोक्साईडे धातू व अल्कोहल ह्यांचा वापर धातूच्या ऑक्साईड ऐवजी केला ही अल्कोक्साईड सेंद्रिय पदार्थात विरघळतात त्यामुळे त्यांचे मिश्रण समप्रमाणांत व पूर्णपणे मिसळते. त्यात पाणी घातल्यावर त्या

अल्कोक्साईडचे ऑक्साईड मध्ये होणारे रूपांतर अविद्राव्य असल्याने तळाशी साक्याच्या स्वरूपांत बसते. असा साका ७०० सेल्सियस तापमानास गरम केला असता अतिसंवाहक सिरेमिक्स निर्माण होते.

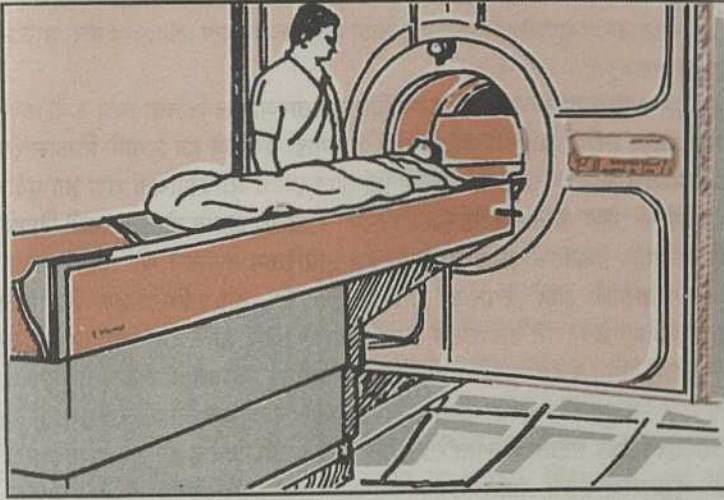
उपयोग :

अतिसंवाहकाचे मुख्य उपयोग त्यांच्यातील शून्य विद्युत विरोध व चुंबकाशी विकर्षण ह्या जुळ्या गुणधर्मांचा वापर करण्यासाठी होतो. पहिल्या गुणधर्मांमुळे विद्युत संचारणामध्ये प्रचंड प्रमाणांत विजेची बचत करण्यासाठी अतिसंवाहक तारांच्या वापरामुळे होईल. तर दुसऱ्या गुणधर्मांचा उपयोग अतिवेगाने हवेतून चालणारी आगगाडी बनविण्याच्या स्वप्नाची पूर्तता करण्यासाठी होईल. जपानमध्ये आगगाडी बनविण्याच्या व्यावसायिकांनी अशा तऱ्हेने चुंबकीय विकर्षणाच्या गुणधर्मांमुळे रूळावरून उत्थापित होणारी आगगाडी विकसित करण्याच्या दृष्टीने काम सुरू केलेले आहे. त्यांनी आगगाडीमध्ये अत्यंत शक्तीशाली अतिसंवाहक चुंबक बसविणे व आगगाडीच्या रूळ मार्गावर चुंबकीय क्षेत्र निर्माण करण्याची कामे हाती घेतलेली आहेत. आगगाडीतील अतिसंवाहक चुंबक व रूळामधील चुंबक ह्यांच्यातील परस्परातील अपसरणामुळे आगगाडी हवेमध्ये तरंगती राहिल. आगगाडीची चाके व रूळ ह्यांचा एकमेकांशी संबंधच न आल्याने घर्षण निर्माण होणार नाही व गाडीचा वेग दर ताशी सुमारे ५०० कि. मी. इतका सहज साध्य होईल.



अतिसंवाहकाच्या चुंबकाद्वारे अतिवेगाने धावणारी (मॅगलेव) आगगाडी.

अतिसंवाहक पदार्थाचा प्रचंड चुंबकीय क्षेत्र निर्माण करण्यासाठी उपयोग होईल. जर तारेच्या वेटोळ्यातून वीज प्रवाह नेला तर त्यामुळे चुंबकीय क्षेत्र निर्माण होते. ह्यासाठी तांब्याची वेटोळी वापरली तर विद्युत प्रवाहाचे संचारण करतांना खूपशी वीज वाया जाते व शिवाय तारेतील अंगभूत विद्युत विरोधामुळे ती गरम होईल, तथापि



सजीवांच्या मेंदूचे आंतून निरीक्षण करण्यासाठी देखील अतिसंवाहक मदत करतो.

जर अतिसंवाहक पदार्थाची तार बनविली तर वेटोळे गरम होण्याची शक्यता व विद्युत शक्तीचा व्यय ह्या दोन्ही गोष्टी टाळता येतील. अशा तऱ्हेचे शक्तीशाली चुंबक स्वस्त किमती मध्ये निर्माण करता येतील व त्यांचे खूप उपयोग देखील आहेत. अतिसंवाहका पासून बनविलेले शक्तीशाली चुंबक वापरून चुंबकीय अनुस्पंदन छाया (magnetic resonance imaging) पद्धतीने मानवी शरीरांतर्गत गोष्टींची माहिती घेता येईल. असे प्रखर चुंबक वापरून भारत करणांचे किरण नियंत्रित करू शकतील. नोबेल पुरस्कार विजेते इंग्रज शास्त्रज्ञ ब्रियान जोसेफसन (१९४०-) ह्यांनी संशोधित अशा जोसेफसन परिणाम ह्या त्यांच्याच नांवाने ओळखल्या जाणाऱ्या अतिसंवाहकातील विशेष गुणधर्मावर आधारित अशी कितीतरी इलेक्ट्रॉनिक उपकरणे विकसित केली आहेत. जेव्हां दोन अतिसंवाहक अत्यंत पातळ अशा विद्युत विरोधक पदार्थांमुळे एकमेकांपासून अलग झालेले असतात तेव्हां एका अतिसंवाहकातून दुसऱ्यांत इलेक्ट्रॉन सहजपणे प्रवास करतात. ह्या इलेक्ट्रॉनच्या प्रवासामुळे दोन अतिसंवाहकांमध्ये कोणतेही वर्चसांतर नसून सुद्धा प्रवाह नेला जातो. ही कारण मिमांसा जोसेफसन ह्यांनी १९६२ मध्ये दिलेली होती. इलेक्ट्रॉनिक उपकरणांपैकी जोसेफसन परिणामांवर आधारित असे सुपर कंडक्टिंग क्वांटम इंटरफरन्स डिव्हाईस (स्क्वीड) नांवाचे आहे. हे उपकरण चुंबकाचे बाबतीत अत्यंत संवेदनशील आहे व पृथ्वीच्या चुंबकीय क्षेत्रांत होणारे किंवा मानवी मस्तकांतर्गत होणारे लहानसे सुद्धा फरक ह्या स्क्वीडच्या सहाय्याने शोधता

येतात. हे उपकरण भूगर्भातर्गत सर्वेक्षण किंवा मेंदूचे क्रमविभाग (Scan) करण्यासाठी उपयुक्त ठरते.

अतिसंवाहकांचा वापर करून विद्युत संचारणातील विजेचा व्यय कमी करणे किंवा हवेतून तरंगत जाणारी अतिवेगवान आगगाडी बनविणे ह्या अद्यापि विकासाच्या प्रक्रीयेमध्येच आहेत. ह्या उलट स्क्वीड ह्या उपकरणांचे व्यावसायिक यश ह्या पूर्वीच सिद्ध झालेले आहे. आतां स्क्वीड ह्या उपकरणाने शालेय क्षेत्रांत डोकावण्याची सिद्धता केलेली आहे. कंडक्टस इनकॉरपोरेशन ह्या अमेरिकन कंपनीने श्री स्क्वीड नांवाचे उपकरण बनविले आहे. त्यांमध्ये $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ ह्या अतिसंवाहक सिरॅमिक्स पदार्थाच्या पातळ तारांचे वळे करून एकत्र जोडलेले आहे. ह्यांचे दोन सांधे जोसेफसन परिणामांचे संगम बनल्यामुळे त्या वळ्यातून वर्चसांतर न ठेवताही सौम्य विद्युत प्रवाह नेता येतो. व चुंबकीय क्षेत्रांत होणारे लहानसे बदल स्क्वीडला जोडलेल्या इलेक्ट्रॉनिक गॅजेट द्वारे विद्युत संकेतात रूपांतरित करता येतात. श्री स्क्वीड ह्या उपकरणाचे मुख्य काम-शुद्ध अध्यापनाचे - अतिसंवाहकाच्या कार्य शक्तीच्या कुवतीचे साध्या प्रयोगांद्वारे विद्यार्थ्यांना स्वतः माहित करून घेणे शक्य व्हावे एवढेच आहे. ह्या पेक्षांही अधिक क्षमतेची प्राध्यापक स्क्वीड व डॉक्टर स्क्वीड ही त्या नांवावरूनच लक्षांत येणारी उपकरणे लवकरच तयार होतील. प्रयोग शाळेत अतिसंवाहक पदार्थाच्या गुणधर्माचा, त्यांच्या क्षमतेचा अभ्यास करणाऱ्या संशोधकांना अशी उपकरणे उपयुक्त ठरतील.

अतिसंवाहकांचा व्यावसायिक प्रमाणावर उपयोग करण्याच्या दृष्टीने कार्यरत होण्यापूर्वी त्यांच्या बाबतच्या अनेक समस्या सोडविणे जरूरीचे आहे. सर्वात पहिली गरज म्हणजे ज्यांचे सीमांत तापमान आणखी उच्च आहे असे सिरॅमिक्स शोधून काढणे. ह्यामुळे अतिसंवाहक पदार्थाला सीमांत तापमानापर्यंत थंड करण्याच्या खर्चात जास्त बचत होईल. दुसरी गोष्ट म्हणजे अतिसंवाहकांना तार किंवा पातळ पत्रा अशा वापरण्या दृष्टीने उपयोगी आकार देणे शक्य करण्याची जरूरी आहे. अतिसंवाहक सिरॅमिक्सने निर्माण केलेल्या अपेक्षां निश्चीतच प्रलोभन वाटण्या इतक्या चांगल्या आहेत. तथापि त्या खर्च सत्य स्वरूपांत येतील कां ? आगामी दशक ह्याचे योग्य उत्तर देणारे ठरेल.



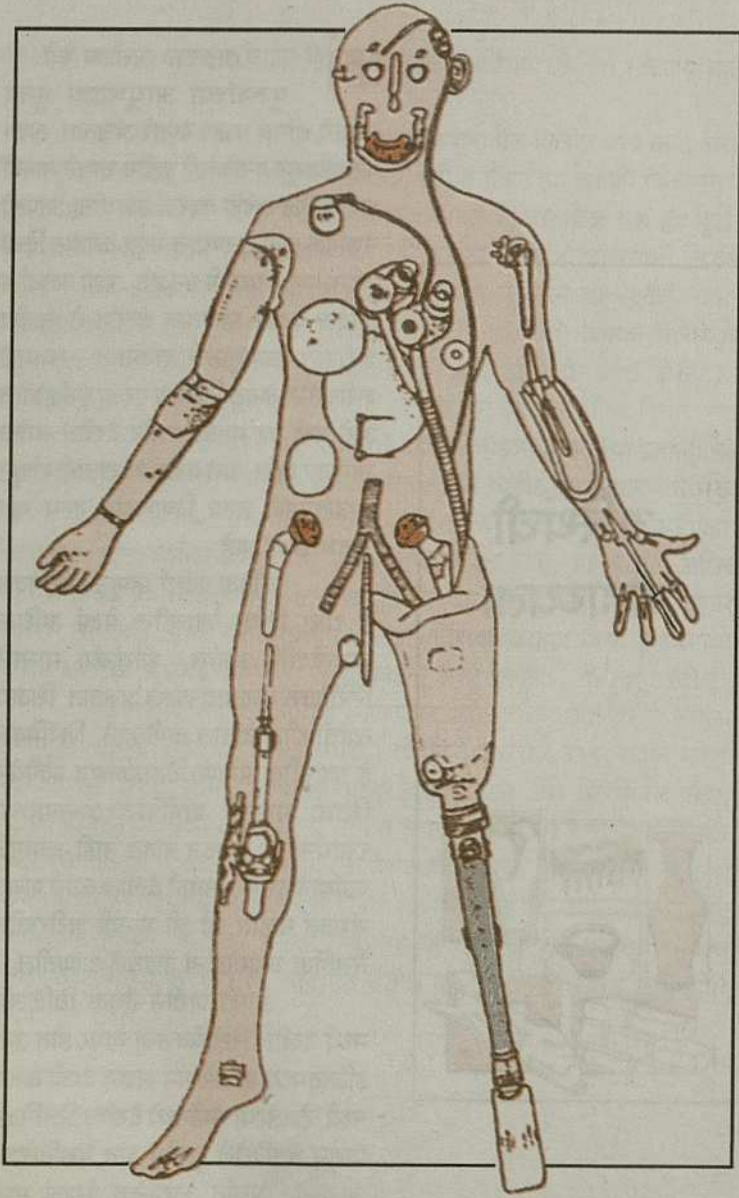
अस्थिंची सहाय्यता



काहीं पदार्थ अक्षरशः असंख्य स्त्री पुरुषांच्या आयुष्याला पुन्हा नव्याने चांगले वळण देणारे असतात. अशा पदार्थांपासून बनविलेली कृत्रीम साधने मानवी शरीरातील क्लेश कारक अवयांना आपली नैसर्गिक कामे करण्यास मदत करतात किंवा त्यांना पूर्णतः पर्यायी बनतात. अशा पदार्थांना जैविक पदार्थ म्हणतात कारण ते सजीव शरीरांत काम करू शकतात. त्यामुळे शरीरातील केवळ विशिष्ट गरजा पूर्ण होतील असे नव्हे तर मानवी शरीर देखील त्यांना सामावून घेईल. असे पदार्थ शास्त्रज्ञांनी शोधून काढल्यामुळे शल्य विशारदांचे काम खूप सुलभ झाले आहे.

जैविक पदार्थ म्हणून सिरॅमिक्स हे धातू किंवा प्लास्टिक पेक्षा अधिक फायदेशीर आहेत. धातूच्या मानाने सिरॅमिक्स वजनाला हलके असतात. शिवाय त्यांची झीज देखील कमी होते. सिरॅमिक्स हे प्लास्टिक प्रमाणे वितंचकांच्या प्रक्रीयेने किंवा मानवी शरीरांत असणाऱ्या रसायनांमुळे विघटन पावत नाही. त्यामुळे पर्यायाने दुसरी रसायने देखील त्यांचे पासून संभवत नाहीत की जी मानवी शरीरातील नैसर्गिक घडामोडींना अडथळे आणतील.

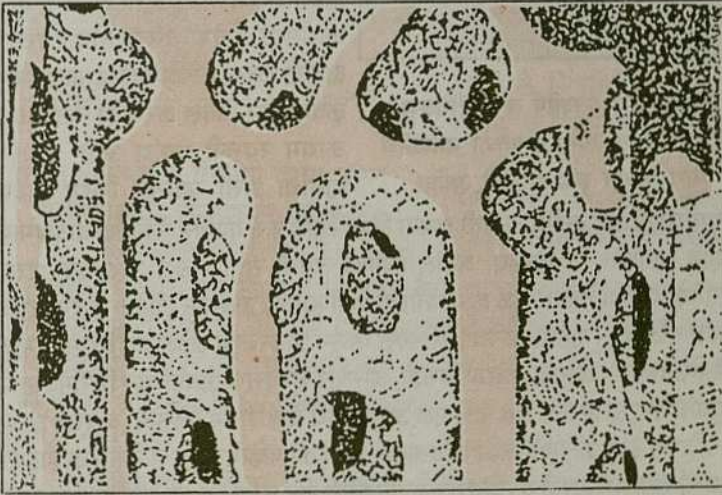
अगदी प्राचीन वैद्यक चिकित्सेमध्ये देखील सिरॅमिक्सचा वापर होत असे. इजिप्तमध्ये शवसंलेपन करून दगडी कबरीं मध्ये ठेवलेल्या ममीमध्ये देखील सिरॅमिक्स पासून बनविलेले कृत्रीम दांत बसविल्याचे आढळते. अर्थात् आधुनिक वैद्यका मध्ये मात्र ह्या शतकांतच सिरॅमिक्सचा वापर जैविक पदार्थ म्हणून सुरू झाला. १९६०



जैव पदार्थ मानवी शरीरातील निकामी किंवा विकृत अवयवांच्या बदली वापरता येतात.

च्या सुमारास संशोधना नंतर निकामी झालेल्या हाडांच्या बदली सिरॅमिक्सचा वापर खऱ्या अर्थाने सुरू झाला.

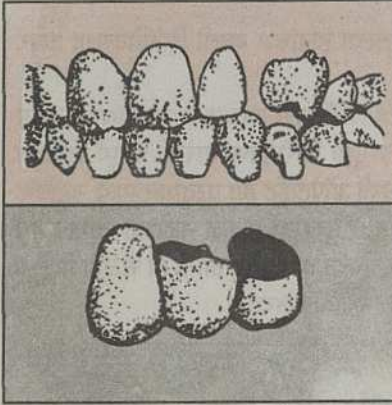
निकामी झालेल्या हाडांच्या बदली सिरॅमिक्स उपयोगांत आणण्याची इच्छा अपघाताने झालेली नाही. नैसर्गिक हाडांतच मुळी सिरॅमिक्स सारखी संयुगे असतात. हाड हे सजीव पेशीचें बनलेले असून ते हॅड्रॉक्सी ऑपेटाईट ह्या वस्तुमानामध्ये न्याविष्ट केलेले (सर्व बाजूंनी व्यापलेले) असते. हाड हे मुख्यतः पोकळ नळीच्या सांगाड्याचे बनलेले असते. ह्या सांगाड्यातील खूपशा वाहिन्या व मोकळी जागा ही सजीव पेशींनी भरलेली असते व त्याच पेशी हाडाची वाढ नियंत्रित करतात.



नैसर्गिक हाड हे अत्यंत सच्छिद्र असा पदार्थ असतो

आधुनिक दंत चिकित्सेत सिरॅमिक्स :

सध्या सिरॅमिक्सचे वैद्यकीय मुख्य उपयोग म्हणजे कृत्रीम दांत बनविणे व हाडे एकमेकांशी सांधणे तसेच हाडामधील निकामी भाग भरून काढणे ह्या साठी होतो. सिरॅमिक्सची संयुक्ते कृत्रीम ही दांत किंवा दातांची कवळी बनविण्यासाठी उपयोगांत आणतात. दातांसाठी वापरण्यांत येणाऱ्या पदार्थांत मुख्यतः सिलिका, अॅल्युमिना व फेल्डस्पार हे सर्वसाधारणतः असतात. त्याच प्रमाणे त्यांना मोत्यासारखा पांढरा शुभ्र रंग आणण्यासाठी टिन ऑक्साईड किंवा टिटॅनियम ऑक्साईड सारखी कांहीं धातूंची ऑक्साईडे वापरतात. ह्या सर्व मिश्रणांची रबडी बनवून साच्यांत ओतून आकार देतात व नंतर सिंटर करतात. दातासाठीच्या चिनीमातीवर आम्ल किंवा अल्कधर्मी पदार्थांचा



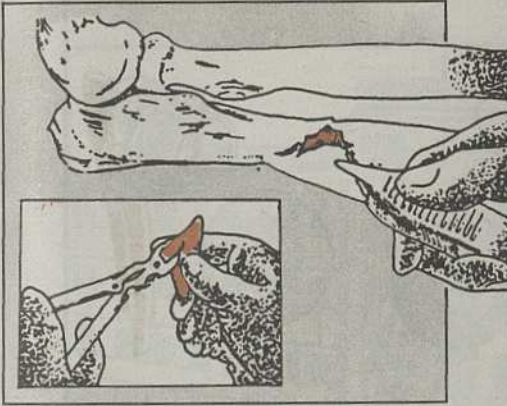
चिनीमातीचे दंतशीर्ष व सिरॅमिक्स पदार्थांचे दांत आता दातांच्या कवळीचे भाग म्हणून रूढ झालेले आहेत.

करण्यासाठी त्या कृत्रीम दातांची क्षमता किंवा त्याचे सर्व गुणधर्म नैसर्गिक दातांप्रमाणे असावे लागतात. व हिरडयां मधील पेशींशी त्यांची संधी जुळणे आवश्यक असते. नैसर्गिक दांत हा दाताचे मूळ व भोवतीच्या पेशी ह्यांच्या दरम्यान जैविक झिरप रोधक अथवा सील बनून राहतो. अस्थि सिरॅमिक्स म्हणून ओळखल्या जाणाऱ्या सिरॅमिक्समध्ये (मिश्रणांत) हा आवश्यक गुणधर्म असतो. अस्थिसिरॅमिक्स हे अर्थात दोन सिरॅमिक्सच्या संयुगांचे संयुक्त असते. त्या पैकी एक असते ट्राय कॅल्शियम फॉस्फेट व दुसरे असते मॅग्नेशियम डाय ऑल्युमिनियम ऑक्साईड ह्या पैकी पहिले संयुग हे नैसर्गिक हाडाशी साधर्म्य साधणारे असते व त्यांच्यात जबड्यातील हाड व पेशी ह्यांना एकत्रित सांधण्याचे गुणधर्म असतात. दुसऱ्या सिरॅमिक्सच्या संयुगामुळे त्याला ताकद मिळते. अस्थिसिरॅमिक्स ह्या संयुक्ताची रचना स्पंज सारखी असते व नैसर्गिक हाडाची वाढ होण्यासाठी ते परांची सारखे उपयोगी पडते. त्यामुळे निवेश केलेला दांत हा नैसर्गिक हाडाशी थेट सांधला जातो.

छिद्रांचे विलेपन

अपघातात किंवा आजारपणामुळे बरेच वेळां हाडांमध्ये विकृती निर्माण होऊन संबंधित व्यक्तीचे आयुष्य दुःखदायक होते. निकामी हाडांमुळे त्यांच्या शरीराच्या हालचालींवर परिणाम होतो व अशा दुर्देवी व्यक्तिला इतरांच्या सहाय्यावर अवलंबून जीवन कंठावे लागते. अशा लोकांचे आयुष्य पुन्हा पूर्ववत करण्यासाठी निकामी हाडे

परिणाम होत नाही किंवा शरीरातील पेशींवर कोणताही घातक परिणाम होते नाही. नैसर्गिक हाड व कॅल्शियम फॉस्फेट ह्या सिरॅमिक्सच्या गुणधर्मात खूप साम्य असल्यामुळे दातांचे रोपण करण्यांत सहज यश संपादन करता आले. दातांचे रोपण म्हणजे नुसते कृत्रीम दांत साचा करून बदलीच्या रूपांत बसविणे नसून जबड्याच्या पोकळीत कृत्रीम दांत कायमचा निवेश करणे होय. कृत्रीम दातांची कवळी बसविण्यापेक्षां अशा तऱ्हेने कृत्रीम दांत निवेश करणे हा नैसर्गिक व कायम स्वरूपी पर्याय आहे. अर्थात दातांचा असा यशस्वी रित्या निवेश



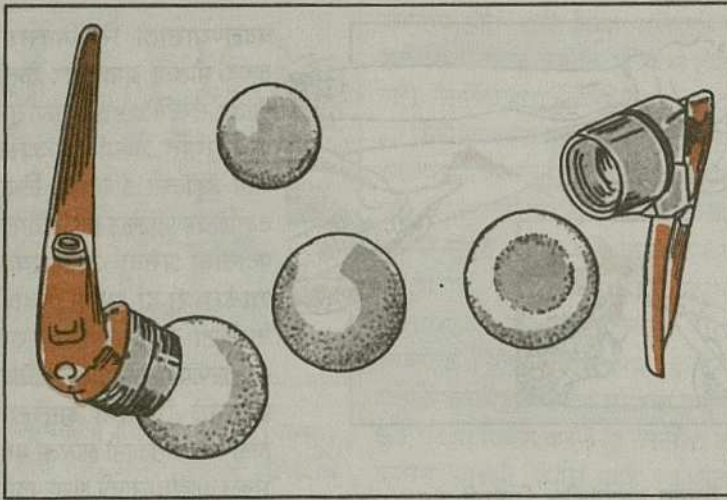
**विकृत हाडांमधील रिकामी जागा भरून
काढण्यासाठी कॅल्शियम फॉस्फेट
सिरॅमिक्स वापरतात**

जातो व हाडाची नैसर्गिक वाढ होण्याला प्रोत्साहन देतो. मोठ्या प्रमाणावर व्यावसायिक दृष्ट्या तयार केलेले हॅड्रॉक्सी अॅपेटाईट हे सच्छिद्र असते त्यामुळे ह्या रिकाम्या जागा नैसर्गिक हाडातील वाहिन्याचें म्हणजेच हाडाची नियंत्रित वाढ व निर्मिती करणाऱ्या सर्व महत्वाच्या अस्थिपेशींच्या निवासाचे काम करते.

सामुहिक प्रयत्न

तथापि मानवी हाडांच्या सांगाड्यापैकी श्रोणि संधी व गुडघ्याच्या सांध्यांच्या हाडांना खूप वजन तोलून धरावे लागते व कॅल्शियम फॉस्फेट सिरॅमिक्समध्ये असे वजन तोलण्या इतका चिवटपणा व ताकद नसल्यामुळे ह्या हाडांच्या बदली कॅल्शियम फॉस्फेट सिरॅमिक्स वापरता येत नाही. माणसाची श्रोणि ही चेंडू व खोबणी ह्यांचा सांधा असून त्यामध्ये कपाच्या आकाराचे हाड खोबणी प्रमाणे एकमेकांना सांधतात. ह्याला उखळीचा सांधा असेही सर्व सामान्यतः म्हटले जाते. हा सांधा ताकदवान परंतु लवचिक अशा नैसर्गिक कूर्चपेशीमुळे तैलपुरण क्रीया करीत असतो. तथापि संधीवाता सारख्या आजाराने हा समन्वय नाश पावू शकतो. व कूर्चपेशींमध्ये विकृती तर आणतोच शिवाय ही दोन हाडे एकमेकांवर घासून त्यांना ताठरपणायेतो. त्यामुळे होणारा त्रास त्या व्यक्तिला आपले दैनंदिन जीवन जगणे देखील मुश्कील करतो. अशावेळी एकच उपाय शिल्लक रहातो. व तो म्हणजे नैसर्गिक सांध्याच्या जागी कृत्रिम सांध्याचे रोपण करणे ह्यालाच 'कृत्रीम अंग' असेही म्हणतात.

बदलण्यासाठी सिरॅमिक्सचा वापर मोठ्या प्रमाणावर केला जातो. नैसर्गिक हाड ज्यापासून बनते त्यांत अध्यपेक्षां जास्त भाग हॅड्रॉक्सी अॅपेटाईट किंवा कॅल्शियम फॉस्फेट ह्या सिरॅमिक पदार्थांचा असतो. आतां प्रयोग शाळेत सुद्धां असा पदार्थ बनविला जाऊ लागला. सर्व साधारणपणे अपघाताने किंवा रोगामुळे निकामी झालेल्या हाडांमधील निकामी झालेला भाग भरून काढण्यासाठी असा पदार्थ वापरतात. हा पदार्थ अशा हाडाशी सहजपणे पुन्हा सांधला



सी. जी. सी. आर. आय. ने विकसित केलेले सिरॅमिक्सचे
दीर्घायुषी कृत्रीम श्रेणी अंग

प्रचलित श्रेणीसाठीचे कृत्रिम अंग हे धातूचे टोपण व प्लास्टीकची खोबण ह्यांची जोडी असते, धातूच्या टोपणाचा स्तंभ हा मांडीच्या हाडाच्या नैसर्गिक पोकळीमध्ये योग्य रीतिने बसविता येतो. अशा तऱ्हेने मांडीच्या हाडाचा निकामी झालेला वरचा भाग कापून काढून त्या ऐवजी धातूचे टोपण बदली बसवून त्याच्या खालचा कांडीचा भाग मांडीच्या हाडाच्या पोकळीत संघातकी करणाने जोडतात.

ह्या प्रचलित प्रकाराचे वैगुण्य म्हणजे हे अल्पायु असते खोबणीशी सतत घर्षण होत असल्याचे टोपण लवकर झिजून जाते. ह्याचे मुख्य कारण म्हणजे ह्या सांध्यावर शरीराचे किंबहुना त्या पेक्षाही अधिक वजन तोलून धरावे लागते. उडी मारतांना तर हे परिणामी वजन शरीराच्या वजनाच्या पन्नास पट देखील होते. नेहमीच्या चालण्यांमध्ये सुद्धा सांध्यावर पडणारे परिणामी वजन शरीराच्या दोन ते अडीच पटीने जास्त असते.

आणि ह्याच बाबतीत सिरॅमिक्सचा झीज प्रतिबंधक गुणधर्म आपल्या मदतीस धावून येतो. जर ह्या कृत्रीम सांध्याचे टोपण -चेंडू व खोबण सिरॅमिक्सच्या पदार्थापासून बनविता आले तर ते जवळ जवळ पूर्ण आयुष्यभर टिकतील.

आवश्यक गुणधर्मांनी युक्त अशा सिरॅमिक्सच्या टोपणाची निर्मिती ही खूप कष्ट साध्य कसोटी आहे. कारण अशा कृत्रीम सांध्याचे यांत्रिकी गुणधर्म व ताकद महत्वपूर्ण असून त्यांचे निर्मितीच्या प्रक्रीये मध्ये नियंत्रण करणे ही अतीशय गुंतागुंतीची



केंद्रीय कांच व सिरॅमिक्स संशोधन केंद्र

बाब असते, उदाहरण घ्यायचे झाले तर सिरॅमिक्सची ताकद व चिवटपणा हे त्यांच्यातील कणांच्या आकारावर अवलंबून असते, कण जेवढा लहान तेवढा जास्त चिवटपणा त्यांच्यात असतो, कारण लहान कणांमधील संलग्नता जास्त दृढ असते व त्यामुळे सिरॅमिक्स मध्ये कणांच्या मध्ये अडकून बनणारी छिद्रे कमी असतात, सिरॅमिक्स पदार्थाचे कच्च्या वस्तू पासून सिंटरिंग प्रक्रीया करतांना ते कण एकमेकांशी दृढ संलग्नता निर्माण करतात तरीही त्याशिवाय घडणारे प्रमुख रूपांतरण म्हणजे कणांच्या आकारांत वाढ होते, ह्यासाठी सिरॅमिक्स पदार्थावर काम करणाऱ्या शास्त्रज्ञांना तारेवरची कसरत करावी लागते.

जरी सिरॅमिक्सच्या टोपणांचे बनविलेले श्रोणी सांधे ही पाश्चात्य देशांत व्यवहार्य गोष्ट झाली असली तरी ते निर्माण करण्याच्या निश्चित पद्धती बाबत त्यांनी व्यापारातील गुप्तता सांभाळलेली आहे, हल्लीच कलकत्याच्या केंद्रीय कांच व सिरॅमिक्स संशोधन संस्थेत (CGCRI) कार्य करणाऱ्या भारतीय शास्त्रज्ञांनी सिरॅमिक्सचे टोपण असणारा श्रोणिसांधा बनविण्याची प्रक्रीया सुनिश्चित करण्यांत यश संपादन केले आहे. सी जी सी आर आय च्या शास्त्रज्ञांनी ह्या साठी शुद्ध अॅल्युमिनियम ऑक्साईडची भुकटी कृत्रीम श्रेणीचे सिरॅमिक्सचे टोपण बनविण्या करिता वापरली, अॅल्युमिनियम ऑक्साईड हे पोलादांपेक्षा अधिक दृढ व ग्रनाईटहून कठीण असल्याने ह्याला पहिली पसंती दिली होती, त्यांनी अॅल्युमिनियम ऑक्साईड व सेंद्रय बंधक

ह्याचें मिश्रणांस अति उच्च दाब दिला, अशा तऱ्हेने तयार झालेल्या घन ठोकळ्याला यंत्राच्या सहाय्याने गोलाकार चेंडूचा आकार दिला व नंतर त्यांस स्कूच्या सहाय्याने आटे पाडले, व अत्यंत काळजी पूर्वक सिंटर केले. ही संपूर्ण प्रक्रिया इतकी काळजीपूर्ण अशी नियंत्रित केली कीं त्यामुळे सिरॅमिक्सच्या टोपणाची घनता ही नमुन्याच्या हाडाच्या घनतेशी तंतोतंत मिळती जुळती आली. हे सारे केल्यामुळे रोपणासाठीच्या सिरॅमिक्सची शरीरातील हाडाशी अनुरूपता साधता येते. अगदी गुळगुळीत पृष्ठभाग बनण्यासाठी ते टोपण घासले त्या नंतर 'प्रचलित' सांध्यापैकी वापरला जात असलेल्या ऑस्टीन मूर पद्धतीच्या स्तंभास त्याची जोडणी केली.

प्रचलित पद्धती पेक्षां सिरॅमिक्सच्या टोपणाची झीज १/३०० इतकी कमी असावी असे अनुमान आहे. अशा तऱ्हेचे सिरॅमिक्सचे श्रोणी सांधे दीर्घायु असतात व जागेवर स्थापन झाल्यावर पुन्हा त्यांच्या प्रत्यारोपणाची गरज नसते. कर्तृत्ववान, तरुण रुग्णांना त्यांच्यातील न्यून काढण्यासाठीचे हे दैवी वरदान आहे.

अशा दुर्दैवी पिडीतांचे पुनरुत्थान करण्याच्या दृष्टीने हा एकमेव पदार्थ म्हणजे मानवासाठी मिळालेली देणगीच आहे. संक्रमणाच्या ह्या प्रवासांत पदार्थ हे सतत मानवाचे दोस्त बनूनच राहिले आहेत व सिरॅमिक्स हे अशा विश्वासू मित्रांपैकी सर्वांत जुने आहेत. त्यांचा आकार व कार्य काळानुरूप बदलला तरी प्रत्येक कालखंडात मानवाच्या अत्यंत गरजेच्या वेळी त्यांनीच प्रतिसाद दिला आहे. ही गरज निवान्याची असो, प्रवासाची असो, संदेश वहनाची असो, आरोग्याची वा विरंगुळ्याची असो. सिरॅमिक्सने नेहमीच त्याला नवीन तोडगा शोधून दिला आहे. मानवी प्रवास अजुनी सुरुच आहे व भविष्यांत देखील आपल्याला त्यांच्या मदतीची गरज निश्चीतच पडणार आहे. खोगिरांत वस्तू साठवून ठेवल्या आहेत व मानवी घोड दौड सुरुच आहे.

स्पष्टीकरण संज्ञा

अपद्रव्य : पदार्थातील विद्युत गुणधर्म बदलण्यासाठी अत्यल्प प्रमाणांत मुद्दाम मिसळलेला दुसरा पदार्थ.

अपघर्षक : जे कठीण पदार्थ दुसरा पदार्थ घासण्यासाठी, धार लावण्यासाठी वापरले जातात.

अॅसबेस्टॉस : हा खनिज पदार्थ असून त्याचे अणू लवचिक धाग्याप्रमाणे असतात. ह्यांचा उपयोग उष्णता व अग्नीरोधक म्हणून करतात.

ऑक्सीडेशन : अणू, रेणू किंवा आयनातून एक किंवा अधिक इलेक्ट्रॉनचे निष्कासन किंवा ऑक्सीजन अणूची समाविष्टता.

उत्तापसह : जे पदार्थ बहुसंख्य धातूंच्या विलय बिंदूपेक्षा उच्च तापमानास टिकाव धरतात.

एकनताक्ष : ज्या स्फटिकाच्या तिन्ही भुजांची लांबी असमान असते व दोन भुजा काटकोनांत असतात.

ओली शक्ती : चिकणमाती किंवा सिरॅमिक्स भुकटीचा भाजण्यापूर्वी कोणत्याही बंधकाच्या अनुपस्थितीत स्वतःचा आकार कायम ठेवण्याचा गुणधर्म.

ओहम : विद्युत विरोध मोजण्याचे परिणाम.

कांचीकरण : चिकणमातीच्या मिश्रणास उष्णता दिली असता ज्या तापमानांस त्यातील घटक पदार्थांचे विलयन होऊन थंड झाल्यावर परिणामी दृढ बंधन होते ती क्रिया.

चतुष्कोणीय : ज्या स्फटिकातील तीन पैकी दोन भुजा समान असतात व तीन्ही भुजा काटकोणांत असतात ती भौमितिक आकृती.

चतुःपृष्ठिय : चार त्रिकोणी पृष्ठभाग असणारी भौमितिक आकृती त्याचप्रमाणे ज्या संयुगातील केंद्रीय परमाणू चार रेणूंशी समानतेने जोडलेला असतो. दोन शेजारील परमाणू केंद्रीय परमाणूशी 90° कोन करतात.

तन्यता : पदार्थाचे भंजन न करता त्याचे तारेसारखे विकृत स्वरूप किंवा आकार बदलण्याच्या क्षमतेचा गुणधर्म.

तरंग : ध्वनी किंवा चुंबकीय विद्युत प्रवाहात प्रतिसेकंद निर्माण होणारे कंपन.

पट्टा : धातु, सिरॅमिक्स अशा पदार्थातील अणू किंवा संयुगातील इलेक्ट्रॉन मधील ऊर्जा दर्शक स्थिति. ह्याच्या सहाय्याने पदार्थाचे विद्युत वहन समजते.

फेल्डस्पार : ॲल्युमिनियम सिलिकेटची नैसर्गिक खनिजे. ह्यामध्ये सोडियम, पोटॅशियम, कॅल्शियम आदि अणूंचा समावेश असतो.

बंधक : आधुनिक सिरॅमिक्स वस्तूंना आकार देण्यासाठी पाण्याशिवाय काही सेंद्रीय पदार्थ वापरले जातात. भाजण्याच्या प्रक्रियेत ते जळून जातात व त्या आधी सिरॅमिक्स मधील अणूंमध्ये दृढ बंधन निर्माण होऊन दिलेला आकार स्थिर राहतो.

रोपण : शरीरातील निकामी किंवा गायब झालेल्या अवयवाची पुनर्स्थापना करण्याची रीत.

वितंचक : सजीव पेशीतील नैसर्गिक घडामोडींना मदत करणारे जैविक सहाय्यक.

विरोधक : ज्या पदार्थातून विद्युत अथवा उष्णता वाहून नेता येत नाही.

सिंटरिंग : सिरॅमिक्सच्या वस्तू विलय बिंदूपेक्षा कमी तापमानांस एकसंघ, अच्छिद्र बनविण्याची क्रिया.

सिरॅमिक्स स्थित्यंतर : चिकण मातीला उष्णता दिली असता त्यातील रेणूंमधील रासायनिक जल निघून जाऊन स्फटिकी रचनेत होणारा बदल.

सिलिकेट : सिलिकॉन व ऑक्सीजन ह्यांचे संयुग.

सूक्ष्मतरंग : ज्या विद्युत चुंबकीय तरंगांची लांबी १ ते ३० सें.मी. असते.

संधीवात : हा आजार असून त्यांत सांध्यांच्या हाडांना सूज येऊन सांध्यांची हालचाल करताना वेदना होतात.

हैड्रॉक्सी ॲपेटाईट : हैड्रॉक्सी गटांचा समावेश असणारे कॅल्शियम फॉस्फेट सिरॅमिक्स.

