



SCHWEIZERISCHE EIDGENOSSENSCHAFT
EIDGENÖSSISCHES INSTITUT FÜR GEISTIGES EIGENTUM

(11) CH

702 369 A2

Patentanmeldung für die Schweiz und Liechtenstein

Schweizerisch-liechtensteinischer Patentschutzvertrag vom 22. Dezember 1978

(51) Int. Cl.: C09J 5/02 (2006.01)
C09J 169/00 (2006.01)
C08L 69/00 (2006.01)

(12) PATENTANMELDUNG

(21) Anmeldenummer: 01957/10

(22) Anmeldedatum: 23.11.2010

(43) Anmeldung veröffentlicht: 15.07.2011

(30) Priorität: 03.12.2009 PL P-389750

(71) Anmelder:
Instytut Chemii Fizycznej Polskiej Akademii Nauk,
ul. Kasprzaka 44/52
01-224 Warszawa (PL)

(72) Erfinder:
Dominika Ogónczyk, 02-791 Warszawa (PL)
Judyta Węgrzyn, 01-224 Warszawa (PL)
Paweł Jankowski, 05-300 Minsk Mazowiecki (PL)
Piotr Garstecki, 05-840 Brwinów (PL)

(74) Vertreter:
Riederer Hasler & Partner Patentanwälte AG,
Kappelestrasse 15
9492 Eschen (LI)

(54) Verfahren zum Verkleben von Polycarbonatplatten unter Aufrechterhaltung ihrer Oberflächen-Mikrostruktur.

(57) Das erfindungsgemässe Verfahren zum Verkleben von Polycarbonatelementen, insbesondere von Mikrosystemen von Polycarbonatplatten, zeichnet sich dadurch aus, dass zu verklebende Oberflächen der Polycarbonat-elemente der Wirkung von Dämpfen eines organischen Lösungsmittels oder Nichtlösungsmittels ausgesetzt sind, was die Quellung der oberen Polymerschicht verursacht, wonach die Oberflächen der modifizierten Polycarbonat-elemente bei einer Temperatur, welche niedriger ist als die Temperatur des Glasüberganges von Polycarbonat (PC), verbunden werden.

Im erfindungsgemässen Verfahren, als organisches Lösungsmittel, der Wirkung dessen die zu verklebenden Oberflächen ausgesetzt werden, wird vorzugsweise zumindest ein aus folgender Gruppe ausgewähltes Lösungsmittel oder Nichtlösungsmittel verwendet: Methylenchlorid (DCM), 2-Butanon (MEK), Aceton (MMK), Benzol, Toluol, Chlorbenzol, Dichlorbenzol, Nitrobenzol, Methylenchlorid, Chloroform, Cyclohexanon, Tetrachlorethan, Dichlorethan, Tetrahydrofuran, Dimethylformamid, m-Kresol und Pyridin.

Im erfindungsgemässen Verfahren wird vorzugsweise die Dicke der quellenden Schicht durch die Regelung der Zeit, in der die Oberfläche der Wirkung des Lösungsmittels oder des Nichtlösungsmittels ausgesetzt ist, im Bereich von 1 Minute bis zu 24 Stunden und/oder im Bereich von 1 Mikrometer bis 600 Mikrometer, geregelt.

Das erfindungsgemässe Verfahren zeichnet sich durch seine Einfachheit, hohe Reproduzierbarkeit sowie dadurch aus, dass es keine Veränderung der Oberflächenchemie oder Mikrokanalgeometrie zur Folge hat. In dem dargestellten Verfahren wird das Phänomen der Quellung der oberen Polymerschicht verwendet, das sich aus dem Kontakt von PC mit den Lösungsmitteldämpfen, Nichtlösungsmitteldämpfen oder einer Mischung von Lösungsmitteldämpfen und/oder Nichtlösungsmitteldämpfen und der Kompression der modifizierten Elemente bei einer bedeutend niedrigeren Temperatur als T_g ergibt.

Beschreibung

[0001] Der Gegenstand der Erfindung ist ein Verfahren zum Verkleben von PC-Mikrosystemen, das sich durch seine Einfachheit, hohe Reproduzierbarkeit sowie dadurch auszeichnet, dass es keine Veränderung der Oberflächenchemie oder Mikrokanalgeometrie zur Folge hat, unter Ausnutzung des Phänomens der Quellung der oberen Polymerschicht im Kontakt der Polycarbonatplatten mit den Lösungsmitteldämpfen und der darauffolgenden Kompression der modifizierten Elemente bei der Temperatur, die bedeutend niedriger als die des Glasübergangs, T_g , ist.

Stand der Technik

[0002] Die Miniaturisierung gilt als wichtiger Trend in vielen Gebieten der Wissenschaft und Technik. Allgemeines Streben nach Miniaturisierung bezweckt Zeit-, Platz-, Kosten- und Materialersparnisse. Seit den letzten Jahrzehnten des 20. Jahrhunderts wird eine schnelle Entwicklung der mikrofluidischen Techniken beobachtet. Die mikrofluidischen Systeme (μ FLDs) sind Systeme miniaturisierter Kanäle mit Querabmessungen von Millimeter-Bruchteilen bis zu mehreren Millimetern, die zur Führung von Fluiden (Flüssigkeiten oder Gasen) verwendet werden. Die Anwendung vom Mikromassstab bei den Strömungen ermöglicht diese einfacher zu kontrollieren. Zum Beispiel, die Strömungen, die sich durch kleine Reynoldszahlen auszeichnen, d.h. solche, für die die Viskositätseffekte viel bedeutender als die Trägheitseffekte sind, werden in einer guten Annäherung mit Gleichungen beschrieben, die die angesetzten Kräfte (z.B. Druckgradienten) mit den Volumendurchflussstärken linear verbinden. Bei vielen Anwendungen der mikrofluidischen Systeme wird eine reproduzierbare und gemessene Dosierung oder Bearbeitung kleiner Fluidmengen (z.B. in den Anwendungen der chemischen Analyse oder bei Erzeugung monodispersiver Emulsionen oder Suspensionen) in Anspruch genommen. Die bevorzugte Geometrie der mikrofluidischen Systeme ist die planare Geometrie, was bedeutet, dass die Systeme von Mikrokanälen sich in/auf einer Ebene oder auf mehreren parallelen, mit Ports verbundenen Schichten, befinden. Solche Systeme werden oft vorzugsweise aus Polymerstoffen in einem Zweietappenverfahren hergestellt. In der ersten Etappe werden Mikromuster (Mikrobohrungen oder Mikropressungen) auf einer flachen Polymerplatte oder auf mehreren Platten erzeugt. Anschließend werden die Platten miteinander verbunden (Platten mit Mustern und Platten ohne Muster in beliebiger Kombination), um das System der Mikrokanäle zu schliessen. Das Verkleben der Polymerplatten führt oft zum Anschmelzen oder zur wesentlichen Auflösung ihrer Oberfläche, was zur Verformung der Mikrokanalquerschnitte beiträgt. Im vorliegenden Antrag stellen wir ein Verfahren zur Verbindung von Polymerplatten vor, das eine dauerhafte Bindung auf reproduzierbare Art und Weise zu erreichen erlaubt, ohne dass die Geometrie der Mikrokanalquerschnitte beeinträchtigt wird.

[0003] Bei der Herstellung miniaturisierter Systeme kommen die neusten wissenschaftlichen und technologischen Errungenschaften sowie die hochentwickelten Werkstoffe (hauptsächlich Polymere) zur Anwendung. Polymere wie: PDMS (Polydimethylsiloxan), PC (Polycarbonat), PMMA (Polymethylmetacrylat), COC (Cyclo-Olefin-Copolymere), PEEK (Polyetheretherketon) oder PI (plastisches Polyimidharz) haben breite Anwendung als Werkstoffe für die Herstellung von miniaturisierten Systemen gefunden. Über die Attraktivität der Polymere entscheidet ihre Vielfalt, und die Werkstoffauswahl wird am meisten durch seine Eigenschaften (z.B. Einfachheit in der Bearbeitung, chemische Beständigkeit oder Durchsichtigkeit) diktiert [1-4]. Ein bei der Herstellung integrierter Mikrosysteme zuletzt gern verwendeter Polymerwerkstoff ist Polycarbonat. Seine Beliebtheit ist u.a. auf die Marktzugänglichkeit, den niedrigen Preis, die einfache Bearbeitung, die mechanische Beständigkeit oder die Durchsichtigkeit im sichtbaren Bereich zurückzuführen. Zu den Nachteilen des PC zählen niedrige Beständigkeit gegen organische Lösungsmittel und Absorption der UV-Strahlung. PC wird bei der Herstellung der in den medizinischen Untersuchungen oder in der Bioanalyse verwendeten μ FLDs allgemein benutzt (z.B. PCR -Polymerase-Kettenreaktion) [5,6]. Die hergestellten Mikrochips sind nicht einmal Multi-Komponentensysteme, die integriert werden müssen. Zur Verbindung der Bestandteile aus PC wird generell thermisches Verkleben verwendet, das eine starke Bindung nicht gewährleistet und oft die Geometrie der Kanäle bedeutend verändert.

[0004] Die Herstellung dauerhafter Bindungen zwischen den Systembestandteilen, ohne ihre Struktur zu beeinträchtigen, ist eines der Schlüsselprobleme in den mikrofluidischen Techniken. Man kann drei Klebverfahren von μ FLDs aufführen: thermisches, chemisches und adhäsives Klebverfahren. Bei Verwendung der thermischen Bindungstechnik müssen die zu verklebenden Polymerelemente auf die Temperatur des Glasübergangs (T_g) erwärmt [7-11] bzw. zusätzliche Werkstoffe, z.B. dünne Folien (sog. Kunststoffbeschichtung) [12] benutzt werden. Diese Methode wird oft für die Integration von Glas- [13] oder Polycarbonatkomponenten [9, 14] verwendet. Darüber hinaus kann diese Technik erweitert und beispielsweise mit Lösungsmittelkleben unterstützt werden (z.B. vor der thermischen Verbindung der PMMA-Elemente werden diese der Wirkung von DMSO und Methanol in der flüssigen Form ausgesetzt) [15].

Thermisches Klebverfahren ist einfach, billig und benötigt Verwendung keiner komplexen Apparatur. Der grundlegende Nachteil dieser Technik ist die Notwendigkeit, die Kompression bei einer T_g nahen Temperatur, d.h. ca. bei 145-150°C durchzuführen, was oft zur Verformung der Geometrie der Mikrokanäle führt.

[0005] Eine Alternative zum thermischen Klebverfahren ist das chemische Klebverfahren, dem eine Veränderung der Oberflächenchemie der zu verbindenden Werkstoffe zugrunde liegt [15-18]. Eine solche Modifizierung kann durch Verwendung von UV/03/ Plasma oder durch die Einführung aktiver funktioneller Gruppen (Hydroxy-, Carboxyl-, Amino- oder Epoxidgruppe) eingeführt werden. UV/03 oder Plasma werden zum Kleben von Elementen aus PDMS oder Glas, Polystyrol, Polyethylen oder PMMA generell verwendet [19,20]. Bei PDMS ist eine solche Modifizierung nicht dauerhaft - unter Lufteinfluss wird die Oberfläche rekonstruiert, was bewirkt, dass der Klebevorgang ausserordentlich schnell sein muss

[21]. Eine andere Möglichkeit für die Integrierung von PDMS-Komponenten besteht in der Modifizierung ihrer Oberfläche mit 3-Aminopropyltriethoxysilan (APTES) und 3-Glycidoxypentyltrimethoxysilan (GPTMS) [22]. Die Reaktion zwischen der Aminogruppe (APTES auf einem Element) und der Epoxygruppe (GPTMS dem anderen) führt zur Erzeugung einer starken chemischen Bindung (kovalente Bindung). Das dargestellte Klebverfahren hat auch die Anwendung beim Kleben zweier verschiedener Polymere: PDMS und PC, gefunden [23].

[0006] Das dritte, wichtigste Klebverfahren ist das adhäsive Kleben. Dazu werden verschiedene Klebstoffe verwendet. Am meisten sind es Harze oder UV-härtbare Werkstoffe, die die Integrierung von Metallen, Glas, Keramik und Polymere ermöglichen [24,25]. Zum Beispiel, können PDMS-Platten durch die Erzeugung verschiedener Filmschichten auf ihrer Oberfläche modifiziert und anschliessend durch chemische Reaktion zwischen den Amino- und Aldehydgruppen dauerhaft verbunden werden [26].

[0007] Ein grundlegender Nachteil des chemischen und adhäsiven Verfahrens ist die entstehende oder notwendige Modifizierung der zu verbindenden Oberflächen. Die einzuführenden Veränderungen der Struktur oder der Kanalchemie stellen in den meisten Fällen einen unerwünschten Effekt dar.

[0008] Es hat sich unerwartet herausgestellt, dass es möglich ist, ein neues Klebverfahren für Polycarbonatplatten zu entwickeln, das sich durch eine besonders hohe Reproduzierbarkeit auszeichnet und im Vergleich mit dem thermischen Klebverfahren von PC eine starke Bindung (hält den Druck von über 0,4 MPa aus) zu erreichen ermöglicht, mit gleichzeitiger Aufrechterhaltung der Mikrokanalgeometrie.

Kern der Erfindung

[0009] Das erfindungsgemässe Verfahren zum Verkleben der Mikrosysteme von Polycarbonatplatten zeichnet sich dadurch aus, dass die zu verklebenden Oberflächen der Wirkung der Dämpfe eines organischen Lösungsmittels und/oder organischen Nichtlösungsmittels ausgesetzt werden, was eine Quellung der oberen Polymerschicht zur Folge hat, und anschliessend die Oberflächen der modifizierten Elemente bei einer Temperatur, welche niedriger ist als die Temperatur des Glasüberganges von Polycarbonat (PC), verbunden werden.

[0010] Vorteilhafterweise werden die Oberflächen der modifizierten Polycarbonatelemente bei einer Temperatur, welche 2 bis 20°C unterhalb der Temperatur des Glasüberganges liegt, bevorzugt welche 1 bis 40°C unterhalb der Temperatur des Glasüberganges liegt, welche bevorzugt 2 bis 20°C unterhalb der Temperatur des Glasüberganges liegt, welche weiter bevorzugt 5 bis 15°C unterhalb der Temperatur des Glasüberganges liegt, verbunden.

[0011] Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Oberflächen der modifizierten Polycarbonatelemente bei einer Temperatur von 125°C bis 135°C, verbunden werden. Der Temperaturbereich von 125°C bis 135°C ist besonders vorteilhaft für Elemente aus Polycarbonatmaterial mit einer Glasübergangstemperatur von etwa 140 °C.

[0012] Im erfindungsgemässen Verfahren wird als organisches Lösungsmittel und/oder Nichtlösungsmittel, der Wirkung dessen die zu verklebenden Oberflächen ausgesetzt sind, vorzugsweise zumindest ein aus folgender Gruppe ausgewähltes Lösungsmittel oder Nichtlösungsmittel verwendet: Methylenchlorid (DCM), 2-Butanon (MEK), Aceton (MMK), Benzol, Toluol, Chlorbenzol, Dichlorbenzol, Nitrobenzol, Methylenchlorid, Chloroform, Cyclohexanon, Tetrachlorethan, Dichlorethan, Tetrahydrofuran, Dimethylformamid, m-Kresol oder Pyridin.

[0013] Im erfindungsgemässen Verfahren wird vorzugsweise die Dicke der quellenden Schicht durch die Regelung der Zeit, in der die Oberfläche der Wirkung des Lösungsmittels und/oder des Nicht-Lösungsmittels ausgesetzt ist, im Bereich von 1 Mikrometer bis 600 Mikrometer, geregelt.

[0014] Im erfindungsgemässen Verfahren wird vorzugsweise die Dicke der quellenden Schicht durch die Regelung der Zeit, in der die Oberfläche der Wirkung des Lösungsmittels und/oder des Nicht-Lösungsmittels ausgesetzt ist, im Bereich von 1 Minute bis zu 24 Stunden, geregelt.

[0015] Das erfindungsgemässe Verfahren zeichnet sich durch seine Einfachheit, hohe Reproduzierbarkeit sowie dadurch aus, dass es keine Veränderung der Oberflächenchemie oder Mikrokanalgeometrie zur Folge hat. Im dargestellten Verfahren wird das Phänomen der Quellung der oberen Polymerschicht verwendet, das sich aus dem Kontakt von PC mit den Lösungsmitteldämpfen und der Kompression der modifizierten Elemente bei einer bedeutend niedrigeren Temperatur als Tg ergibt.

[0016] In dem Verfahren sind die folgenden organischen Substanzen verwendet: Methylenchlorid (DCM), 2-Butanon (MEK) und/oder Aceton (MMK). DCM ist ein allgemein bekanntes und verwendetes Lösungsmittel für PC. Seine Beliebtheit ist auf seine hohe chemische Stabilität oder niedrigen Siedepunkt zurückzuführen. Neben dem Lösungsmittel für PC (DCM), kommen auch die Nicht-Lösungsmittel für PC (MEK und MMK), die die Quellung hervorrufen aber nicht den Aufschluss von PC verursachen, zur Anwendung [27]. In der Terminologie der vorliegenden Anmeldung sind Lösungsmittel Substanzen, welche bei genügend Zeit und Menge das PC auflösen können, während Nicht-Lösungsmittel lediglich in das PC eindringen, dessen Polymerketten aufweiten (bzw. aufschwellen), jedoch keine Auflösung des PC bewirken. Der Einfachheit halber werden für den Zweck der weiteren Beschreibung beide Substanzgruppen als Lösungsmittel bezeichnet - ausser dort wo deren Unterscheidung betont werden soll.

[0017] Die erfindungsgemässe Vorrichtung zum Verkleben von Polycarbonat-Mikrosystemen besteht aus einem eventuell gekühlten Behälter 2 mit dem Lösungsmittel 4, das über ein Dreiwegeventil 6 mit einem vorzugsweise aus Glas gefertigten Reaktor 1, sowie einer Membran-Vakuum-Pumpe 3 verbunden ist. Zusätzlich ist das Reaktor 1 vorzugsweise mit einem Absperrventil 7 und einem Mischer 8 ausgerüstet, um die Homogenität der Zusammensetzung der Gasatmosphäre zu gewährleisten.

[0018] Ein Schema der erfindungsgemässen Vorrichtung ist in Fig. 1 dargestellt. Das Verfahren zum Verkleben umfasst die folgenden Etappen: i) Anbringen der PC-Elemente 5 in den Reaktor 1, ii) Auspumpen der Luft aus dem Reaktor um einen Unterdruck zu erzeugen, vorzugsweise $p = 10$ mbar, mittels der Pumpe 3, iii) Verbindung des Reaktors 1 mit dem Lösungsmittelbehälter 2 und Einführung der Lösungsmitteldämpfe in den Reaktor 1. Um die Homogenität der Dämpfe zu gewährleisten, werden Lösungsmittel und Gas im Reaktor mittels eines Mischers im Laufe des gesamten Vorgangs gemischt. Anschliessend werden die zu verklebenden Platten zusammengedrückt (komprimiert).

[0019] Die Dämpfe des zu verwendenden Lösungsmittels verursachen die Quellung des Polymers und die Erzeugung einer mikroskopisch sichtbaren, modifizierten PC-Schicht. Die beobachtete Dicke der modifizierten Schicht d widerspiegelt die Kinetik des Diffusionsvorgangs, die von der Einwirkungszeit und dem Volumen des verwendeten Lösungsmittels genau abhängt.

[0020] Das entwickelte Verfahren zum Verkleben von Polycarbonatplatten (PC) beruht auf einem einfachen Gerätesatz sowie allgemein zugänglichen und billigen Reagenzien. Das Verfahren stellt ein besonders attraktives Tool zur Erzeugung dauerhafter und beständiger Bindungen zwischen den Polycarbonatplatten mit den mikrofluidischen Kanalmustern dar. Der gegenwärtige Stand der Technik erlaubt für die Erzeugung starker Bindungen mittels thermischen (Pressen, Schweißen) oder chemischen (Auflösung und Bindung) Verfahren. Die genannten Bindungsverfahren verursachen jedoch oft bedeutende oder vollständige Verformung von den auf der Oberfläche geschnittenen Mikromustern. Das im vorliegenden Antrag dargestellte Verfahren löst dieses technische Problem. Insbesondere, das erfindungsgemässe Verfahren beruht auf einem kontrollierten Aussetzen der Polycarbonatplatten der Wirkung der Dämpfe der organischen Lösungsmittel und auf dem homogenen Zusammendrücken (Kompression) bei einer Temperatur, die bedeutend niedriger ist als die Temperatur des Glasüberganges des verwendeten Polymerwerkstoffs.

[0021] Das erfindungsgemässe Verfahren, dank dem Aussetzen der Platten der Wirkung der Lösungsmitteldämpfe, gewährleistet die Homogenität der Anätzung des Werkstoffes und eine bessere Reproduzierbarkeit. Das Verfahren ist aber auch viel einfacher in der Anwendung, weil es das Aussetzen der Wirkung der Lösungsmitteldämpfe, und nicht die Lösung (d.h. das Eintauchen) in der flüssigen Phase selbst verwendet.

[0022] Im Folgenden sind die Beispiele zur Ausführung der Erfindung dargestellt.

Beispiel I.

[0023] In der in Fig. 1 dargestellten Vorrichtung wurden die Proben aus Polycarbonatplatten Macroclear und Macrolon (Bayer) in den Reaktor 1 gebracht, dann wurde die Luft, bis zum Unterdruck von ca. 10 mbar, mittels der Pumpe 3 aus dem Reaktor ausgepumpt, und anschliessend wurde der Reaktor 1 mit dem das Dichlormethan enthaltenden Lösungsmittelbehälter 2 verbunden und die Lösungsmitteldämpfe in den Reaktor eingeführt. Um die Homogenität der Dämpfe zu gewährleisten, waren das Lösungsmittel und Gas im Reaktor im Laufe des gesamten Vorganges gemischt. Weiterhin wurden die im oben erwähnten Verfahren modifizierten PC-Platten bei Verwendung einer thermischen Presse geschweisst. Der Klebevorgang war durch die Temperatur (T), den Druck (p) und die Kompressionszeit bedingt. Die Parameter: T und p waren variabel, die Klebezeit dagegen wurde für 30 Minuten festgesetzt. Darüber hinaus wurde die minimale, zum Kleben von Polycarbonat-Komponenten erforderliche PC-Penetrationstiefe (d) gefunden, die für 20 μm bestimmt wurde, unabhängig von T und p . Der Klebevorgang im dargestellten Verfahren beruht: i) auf einem konformen Kontakt zwischen den PC-Platten und ii) auf der gegenseitigen Interdiffusion von Polymerketten.

Beispiel II.

[0024] In der in Fig. 1 dargestellten Vorrichtung wurden die Proben aus Polycarbonatplatten Macroclear sowie Macrolon (Bayer) in den Reaktor 1 gebracht, dann wurde die Luft, bis zum Unterdruck von ca. 10 mbar, mittels der Pumpe 3 aus dem Reaktor ausgepumpt, und anschliessend wurde der Reaktor 1 mit dem das Aceton (oder 2-Butanon) enthaltenden Lösungsmittelbehälter 2 verbunden und die Lösungsmitteldämpfe in den Reaktor eingeführt. Um die Homogenität der Dämpfe zu gewährleisten, waren das Lösungsmittel und Gas im Reaktor im Laufe des gesamten Vorganges gemischt. Nach dem Abschluss der Aufweichungsetappe wurde ein homogenes Pressen (Kompression) der zu verklebenden Platten bis zur Erzeugung der Bindung durchgeführt. Weiterhin wurden die im oben erwähnten Verfahren modifizierten PC-Platten bei Verwendung einer thermischen Presse geschweisst. Der Klebevorgang war durch die Temperatur (T), den Druck (p) und die Kompressionszeit bedingt. Die Parameter: T^* und p waren variabel, die Klebezeit dagegen wurde für 30 Minuten festgesetzt. Darüber hinaus wurde die minimale, zum Kleben von Polycarbonat-Komponenten erforderliche PC-Penetrationstiefe (d) gefunden, die für 20 μm bestimmt wurde, unabhängig von T und p . Der Klebevorgang im dargestellten Verfahren beruht: 1) auf einem konformen Kontakt zwischen den PC-Platten und ii) auf der gegenseitigen Interdiffusion von Polymerketten.

Zusammenfassung der Ergebnisse.

[0025] In Fig. 2 ist die Abhängigkeit davon der Expositionszeit des Makroion® PC (20x10x2 mm) auf die Dämpfe von DCM (Kreise), MEK (Dreiecke) und MMK (Quadrate), die durch Verdampfung von 1 mL des entsprechenden Lösungsmittels erzeugt wurden, gezeigt. Es scheint, dass das beobachtete Profil $d(t)$ keine einfache Diffusion, in der d dem $t^{1/2}$ proportional ist, sondern ein komplexerer Prozess darstellt [28]. Der Effekt der Sättigung von PC mit den Dämpfen ist deutlich. Das dargestellte Profil $d(t)$ beweist die Möglichkeit, die Schichtdicke d durch die Änderung der Expositionszeit einfach zu regeln. Während der Experimente wurde auch bemerkt, dass die Oberfläche der PC-Platten werkmässig modifiziert ist (Fig. 2). Die Penetration des PC ohne Schutzschicht (obere 100-Mikrometer Schicht wurde entfernt) (Ringe in Rg. 2) durch die Lösungsmitteldämpfe war grösser (um die Dicke von ca. 15 μm) als bei PC mit einer Schutzschicht (Kreise in Fig. 2). Dennoch war das qualitative Profil von $d(t)$ in beiden Fällen ähnlich. Der beobachtete Effekt kann darauf hinweisen, dass das vorgestellte Verfahren einer Kalibrierung, abhängig von der Art und Herkunft des Polycarbonats, erfordern wird.

[0026] Anschliessend wurde der Einfluss der DCM-Menge auf d untersucht, und die Ergebnisse sind in Fig. 3 und Fig. 4 dargestellt. Im Experiment wurden die Makroion® PC-Platten: 0,75 mm dick (Quadrate in Fig. 4), 2 mm dick (Kreise in Rg. 4) und 5 mm dick (Dreiecke in Rg. 4) benutzt. Die Expositionszeit war konstant und betrug 30 Minuten. Die gewonnenen Ergebnisse zeigen, dass das DCM-Volumen die Dicke der zu penetrierenden Schicht wesentlich beeinflusst. Die Verwendung von DCM in der Menge von 1 bis zu 4 mL gewährleistet jedoch die Erhaltung einer reproduzierbaren Schicht mit einer unveränderlichen Dicken von 20 μm (Fig. 4). Zusätzlich wurde überprüft, dass d , bei einer festgesetzten Menge des Lösungsmittels, von der modifizierten Platten-Oberfläche nicht abhängig ist.

[0027] Der für die PC-Modifizierung verwendete Verdampfungsprozess ist höchst endergon während des Experiments kühlt sich der Glaskolben bedeutend ab. Der beobachtete Effekt kann durch Auftreten des Kavitationsphänomens erklärt werden, das in einer heftigen Phasenumwandlung von der flüssigen Phase in die Gasphase unter Druckeinfluss besteht. Es wurde überprüft, dass eine Änderung der Temperatur des Wasserbades (im dem der Glaskolben mit dem Lösungsmittel eingetaucht ist) im Bereich von 22 bis zu 30°C die Dicke der modifizierten PC-Schicht nicht bedeutend beeinflusst.

[0028] Weiterhin wurden die im oben erwähnten Verfahren modifizierten PC-Platten bei Verwendung einer thermischen Presse geschweisst. Der Klebevorgang ist durch die Temperatur (T), den Druck (p) oder die Kompressionszeit bedingt. Die Parameter: T und p waren variabel, die Klebezeit dagegen wurde für 30 Minuten festgesetzt. Darüber hinaus wurde die minimale, zum Kleben von Polycarbonat-Komponenten erforderliche PC-Penetrationstiefe (d) gefunden, die für 20 μm bestimmt wurde, unabhängig von T und p . Der Klebevorgang in dem dargestellten Verfahren beruht: i) auf einem konformen Kontakt zwischen den PC-Platten und ii) auf der gegenseitigen Interdiffusion von Polymerketten. Weil die Polymerdiffusion eigentlich auf der Längenskala bedeutend kleiner als 20 μm verläuft, theoretisch angenommen wurde, dass die Probleme mit der Erhaltung einer reproduzierbaren Bindung für $d < 20 \mu\text{m}$ sich aus dem mangelnden konformen Kontakt zwischen den Platten ergaben.

[0029] Um eine kleinere Bindungsdicke zu erhalten ($d < 20 \mu\text{m}$), wäre die Verwendung der Platten mit einer vorher speziell vorbereiteten - sehr glatten Oberfläche notwendig, die einen guten Kontakt bei gewünschter Temperatur und Druck ermöglicht. Mit anderen Worten, das Verkleben der Platten mit einer dünneren Bindung erfordert eine kleinere Penetrationstiefe der Platten durch die Lösungsmitteldämpfe, und demzufolge die Möglichkeit, ebenere (genauer gefertigte) Platten zur Verfügung zu haben. Dann wahrscheinlich, würde zur Verbindung der Platten eine kleinere Quellungstiefe ausreichen. Wichtig ist es, dass es gezeigt wurde, dass die Penetration und die Quellung von PC in einer Tiefe von etwas mehr/über 20 μm keine wesentliche Verformung der Mikrokanäle zur Folge hat. Das dargestellte Verfahren ist besonders attraktiv, weil es Verkleben von PC-Platten ermöglicht, die in einem verhältnismässig einfachen Standard der Baubranche gefertigt sind, wodurch sie auch verhältnismässig billig sein können. Das dargestellte Verfahren ermöglicht die Erzeugung einer dauerhaften Bindung bei gleichzeitiger Aufrechterhaltung der Geometrie des Systems mit einer Genauigkeit bis zu einzelnen Mikrometern oder Ausmassen unter 10 bis 20 Mikrometer.

[0030] Die Verklebungsparameter p und T wurden für ein Lösungsmittel, Dichlormethan (DCM), entsprechend in Bereichen: 0,05- 0,4 MPa und $125-135^\circ\text{C} < T_g$ geprüft. Dazu wurden die Systeme mit Abmessungen 20x20 mm, mit einer Mikrokanalstruktur und einer Einlauföffnung zu einer Kammer mit Durchmesser 10 mm, die sich im zentralen Teil des Chips befindet, gefertigt. Die in den oben erwähnten Bedingungen erhaltenen Ergebnisse der Verklebung haben die Möglichkeit einer reproduzierbaren Erzeugung einer starken Bindung bei gleichzeitiger Aufrechterhaltung der Kanalgeometrie bestätigt (Fig. 5). Der Verformungsgrad der Kanäle wurde mit der Formel: $S/S_0 \times 100\%$ eingeschätzt, wo S_0 und S die Querschnittsflächen der Kanäle in μm^2 sind, entsprechend vor und nach dem Verkleben. Minimale Verformungen wurden nur für die höchsten rund p Werten (135°C und 0,4 MPa) beobachtet. Die Grundlage für die Ermittlung der Dicke der erhaltenen Bindungen waren die Ergebnisse der durchgeführten Druckprüfungen. Es wurde gezeigt, dass die erhaltenen Bindungen verhältnismässig stark und gegen Druck von über 0,4 MPa beständig sind. Die stärkste Bindung ($\sim 0,6 \text{ MPa}$) wurde bei höchsten T und p Werten (135°C und 0,4 MPa) erhalten.

[0031] Ähnliche Ergebnisse, d.h. die Erzeugung einer starken Bindung bei einer vernachlässigbaren Verformung der Kanalgeometrie wurden bei Nicht-Lösungsmittel (Ausfällmittel) des Polycarbonats, insbesondere 2-Butanon (MEK) und Aceton (MMK), erhalten. In Fig. 6 sind die Kanalquerschnitte vor und nach dem Kleben von PC unter Verwendung der Lösungsmittel: DCM, MEK und MMK, dargestellt.

[0032] Literatur:

- 1 H. Becker and L.E. Locascio, *Talanta*, 2002, 56, 267.
- 2 J.M. Margolls, *Engineering Thermoplastic: Properties and Applications*, Marcel Dekker, USA, 1985.
- 3 O. Olabisi, *Handbook of thermoplastics*, Marcel Dekker, USA, 1997.
- 4 J. Brandrup, E.H. Immergut, E.A. Grulke, A. Eric and A. Abe, *Polymer Handbook*, J. Wiley & Son, 1999.
- 5 Y. Liu, D. Ganser, A. Schneider, R. Liu, Piotr Grodzinski, N. Kroutchinina, *Anal. Chem.*, 2001, 73, 4196.
- 6 C.H. Chan, J.K. Chen and F.C. Chang, *Sens. Actuators B*, 2008, 133, 327.
- 7 Y.J. Liu, C. B. Rauch, R. Lenigk, J. Yang, D.B. Rhine and P. Grodzinski, *Anal. Chem.*, 2002, 74, 3063.
- 8 K.S. Hong, J. Wang, A. Sharonov, D. Chandra, J. Alzenberg and S. Yang, *J. Micromech. Microeng.*, 2006, 16, 1660.
- 9 J. Yang, Y. Liu, C.B. Rauch, R.L. Stevens, R.H. Liu, R. Lenigk, P. Grodzinski, *Lab Chip*, 2002, 2, 179.
- 10 M.H. Sorouraddin, M. Amjadi and M. Safi-Shalamazari, *Anal. Chim. Acta*, 2007, 589, 84.
- 11 H. Shadpour, M.L. Hupert, D. Patterson, C.G. Liu, M. Galloway, W. Stryjewski, J. Goettert and S.A. Soper, *Anal. Chem.*, 2007, 79, 870.
- 12 R.M. McCormick, R.J. Nelson, M.G. Alonso-Amigo, D.J. Benvegnu and H.H. Hooper, *Anal. Chem.*, 1997, 69, 2626.
- 13 T. McCreedy, *Anal. Chim. Acta*, 2001, 427, 39.
- 14 J. Chen, M. Wabuyele, H. Chen, D. Patterson, M. Hupert, H. Shadpour, D. Nikitopoulos and S.A. Soper, *Anal. Chem.*, 2005, 77, 658.
- 15 L. Brown, T. Koerner, J.H. Horton and R.D. Oleschuk, *Lab Chip*, 2006, 6, 66.
- 16 Y. Zhang, V. Bailey, C.M. Puleo, H. Easwaran, E. Griffiths, J.G. Herman, S.B. Baylinb and T.H. Wang, *Lab Chip*, 2009, 9, 1059.
- 17 C.J. Easley, R.K.P. Benninger, J.H. Shaver, W.S. Heada and D.W. Piston, *Lab Chip*, 2009, 9, 1119.
- 18 S.G. Im, K.W. Bong, C.H. Lee, P.S. Doylea and K.K. Gleason, *Lab Chip*, 2009, 9, 411.
- 19 J.C. McDonald and G.W. Whitesides, *Acc. Chem. Res.*, 2002, 35, 491.
- 20 W. Zhang, S. Lin, C. Wang, J. Hu, C. Li, Z. Zhuang, Y. Zhou, R.A. Mathies and C.J. Yang, *Lab Chip*, 2009, 9, 3088.
- 21 J. Kim, M.K. Chaudhury and M.J. Owen, *J. Colloid Interface Sci.*, 2000, 226, 231.
- 22 N.Y. Lee and B.H. Chung, *Langmuir*, 2009, 25, 3861.
- 23 K.S. Lee and R.J. Ram, *Lab Chip*, 2009, 9, 1618.
- 24 A. Gerlach, H. Lambach and D. Seidel, *Microsystem Technologies*, 1999, 6, 19.
- 25 D. Maas, B. Bustgens, J. Fahrenberg, W. Keller, P. Ruther, D. Seidel, *IEEEExplore*, 1996, 331.
- 26 H.Y. Chen, A.A. McClelland, Z. Chen and 1 Lahann, *Anal. Chem.*, 2008, 80, 4119.
- 27 J. Borkowski, Z. Dobkowski, B. Krajewski, S. Maczenski, Z. Wielgosz, *Poliweglany, WNT, W-wa*, 1971.
- 28 M. Fialkowski, C.J. Campbell, I.T. Bensemann and B.A. Grzybowski, *Langmut*, 2004, 20, 3513.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Verbindung von Polycarbonatelementen, insbesondere Polycarbonatplatten, dadurch gekennzeichnet, dass zu verbindende Oberflächen der Polycarbonatelemente der Wirkung eines eine Quellung der oberen Polymer-schicht verursachenden organischen Lösungsmittels und/oder Nicht-Lösungsmittels ausgesetzt werden, wonach die Oberflächen der modifizierten Polycarbonatelemente bei einer Temperatur, welche niedriger ist als die Temperatur des Glasüberganges von Polycarbonat, verbunden werden.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Oberflächen der modifizierten Polycarbonatelemente bei einer Temperatur, welche 1 bis 40°C unterhalb der Temperatur des Glasüberganges liegt, welche bevorzugt 2 bis 20°C unterhalb der Temperatur des Glasüberganges liegt, welche weiter bevorzugt 5 bis 15°C unterhalb der Temperatur des Glasüberganges liegt, verbunden werden.
3. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Oberflächen der modifizierten Polycarbonatelemente bei einer Temperatur von 125°C bis zu 135°C verbunden werden.
4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass als organisches Lösungsmittel und/oder organisches Nicht-Lösungsmittel, der Wirkung dessen die zu verklebenden Oberflächen ausgesetzt werden, zumindest ein aus folgender Gruppe ausgewähltes Lösungsmittel oder Nicht-Lösungsmittel verwendet wird: Methylenchlorid (DCM), 2-Butanon (MEK), Aceton (MMK), Benzol, Toluol, Chlorbenzol, Dichlorbenzol, Nitrobenzol, Methylenchlorid, Chloroform, Cyclohexanon, Tetrachlorethan, Dichlorethan, Tetrahydrofuran, Dimethylformamid, m-Kresol und Pyridin.
5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Dicke der quellenden Schicht durch die Regelung der Zeit, in der die Oberfläche der Wirkung des Lösungsmittels und/oder des Nicht-Lösungsmittels ausgesetzt ist, im Bereich von 1 Minute bis zu 24 Stunden, geregelt wird.
6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Dicke der quellenden Schicht durch die Regelung der Zeit, in der die Oberfläche der Wirkung des Lösungsmittels und/oder des Nicht-Lösungsmittels ausgesetzt ist, im Bereich von 1 Mikrometer bis 600 Mikrometer, geregelt wird.
7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Quellungsvorgang der Oberflächenschicht in einer mit einer kontrollierten Menge von Lösungsmitteldämpfen, Nichtlösungsmitteldämpfen oder einer Mischung von Lösungsmitteldämpfen und/oder Nichtlösungsmitteldämpfen gefüllten Vakuumkammer stattfindet.

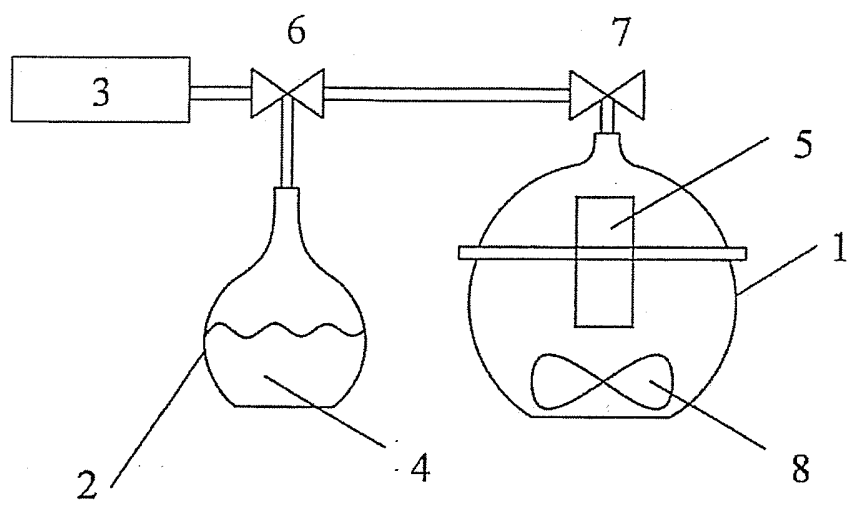


Fig. 1

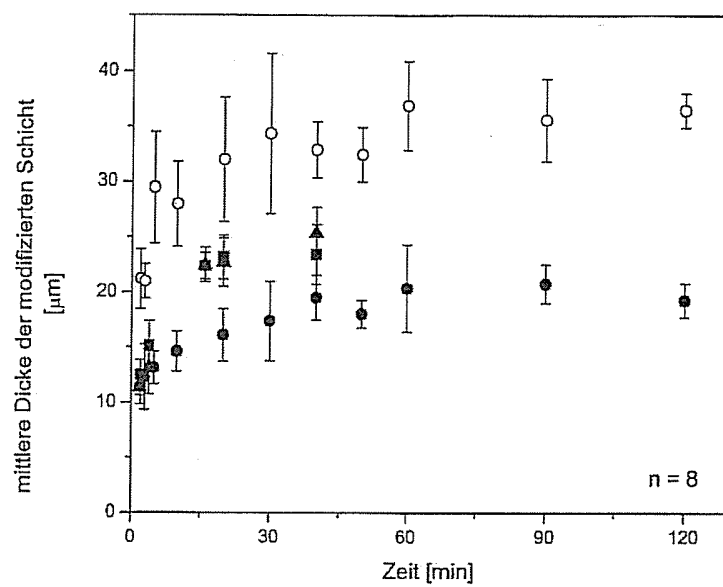


Fig. 2

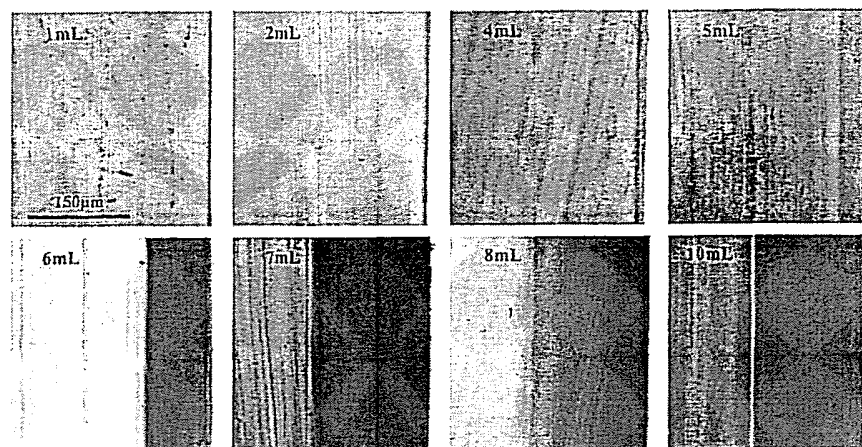


Fig. 3

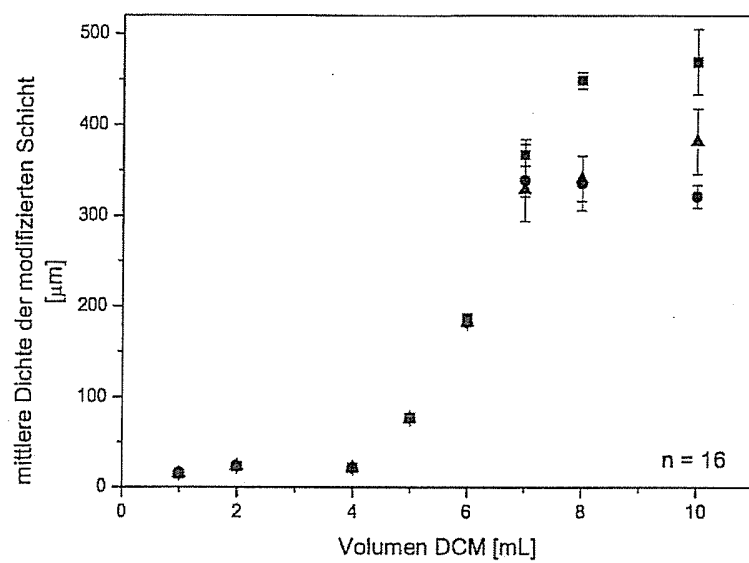
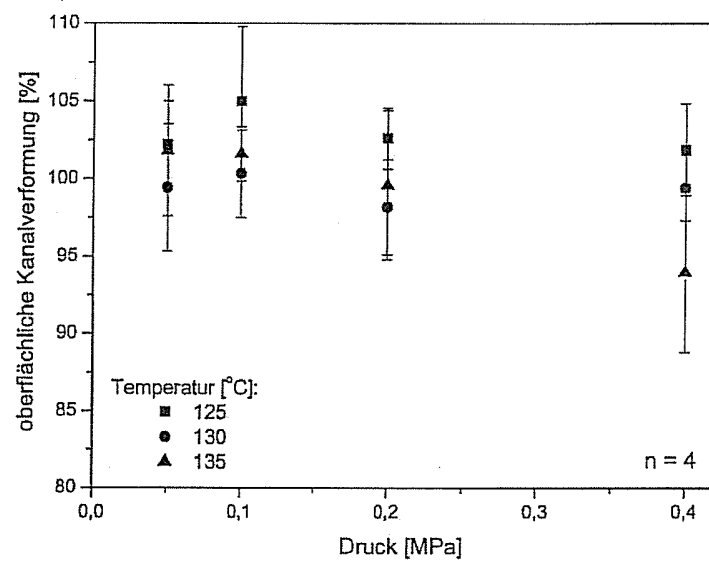


Fig. 4

**Fig. 5**

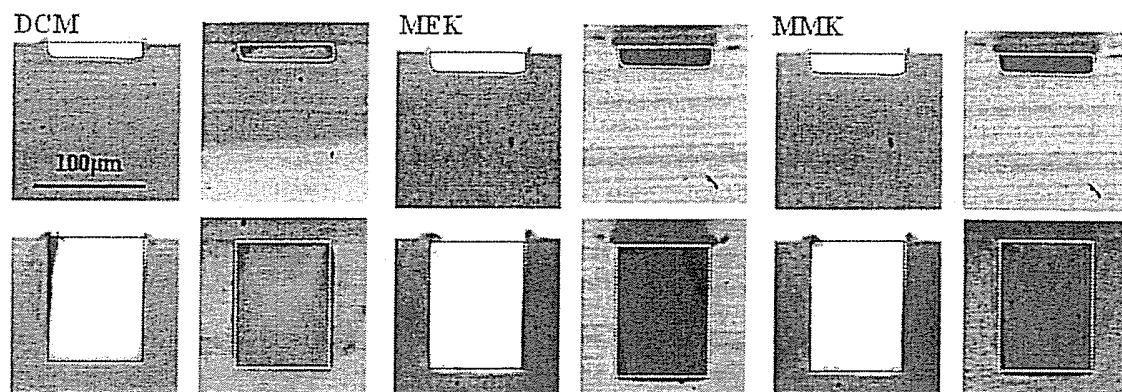


Fig. 6