



УКРАЇНА

(19) UA (11) 54901 (13) U  
(51) МПК (2009)  
G01N 21/64  
A01G 7/00

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ  
І НАУКИ УКРАЇНИ

ДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ  
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
ВЛАСНОСТІ

## ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

видається під  
відповідальність  
власника  
патенту

(54) СЕНСОР

1

2

(21) u201006996

(22) 07.06.2010

(24) 25.11.2010

(46) 25.11.2010, Бюл. № 22, 2010 р.

(72) АРТЕМЕНКО ДМИТРО МИХАЙЛОВИЧ, ВОЙТОВИЧ ІГОР ДАНИЛОВИЧ, КИТАЄВ ОЛЕГ ІГОРОВИЧ, КЛОЧАН ПЕТРО СТЕПАНОВИЧ, КОЛЕСНИК ЮРІЙ СТЕПАНОВИЧ, РОМАНОВ ВОЛОДИМИР ОЛЕКСАНДРОВИЧ, ФЕДАК ВОЛОДИМИР СЕМЕНОВИЧ

(73) ІНСТИТУТ КІБЕРНЕТИКИ ІМ. В.М. ГЛУШКОВА НАН УКРАЇНИ

(57) 1. Сенсор, що містить затискач, що складається з двох рухомо з'єднаних пластин, фотоприймачі, розташовані над світлофільтрами, що знаходяться в отворі верхньої пластини, під світлозахисним кожухом, світлодіоди, розміщені попарно-симетрично навколо отвору під верхньою пластинною затискача та оточені ущільнюючою манжетою, а нижня пластина має отвір, співвісний з отвором верхньої пластини, який відрізняється тим, що в ньому нижня пластина виконана роз'ємною і включає змінну з отвором і фіксовану півпластини, скріплені фіксатором, а в отворі змінної півпластини напроти отвору верхньої пластини розташовано режимозадавальний модуль, охоплений ущільнюючою прокладкою.

2. Сенсор за п. 1, який відрізняється тим, що в ньому режимозадавальний модуль являє собою

мікротерези у вигляді селективного сорбента, нанесеного на грань кварцового резонатора та закритого зверху пористим захисним шаром.

3. Сенсор за п. 1, який відрізняється тим, що в ньому режимозадавальний модуль являє собою термоелектричний мікрохолодильник з термодатчиком на верхній охолодженій поверхні.

4. Сенсор за п. 1, який відрізняється тим, що в ньому режимозадавальний модуль являє собою електричний нагрівач-термодатчик у вигляді резистора з титан-нікелевого сплаву, який нанесено на поліамідну плівку, покриту з другого боку алюмінієвою фольгою, та розташований на теплоізоляторі в отворі змінної півпластини.

5. Сенсор за п. 1, який відрізняється тим, що в ньому режимозадавальний модуль являє собою червоний та інфрачервоний світлодіоди, розташовані на платі в отворі змінної півпластини і орієнтовані на отвір верхньої пластини.

6. Сенсор за п. 1, який відрізняється тим, що в ньому режимозадавальний модуль являє собою пластину скляного світлофільтра ОС-14.

7. Сенсор за п. 1, який відрізняється тим, що в ньому режимозадавальний модуль являє собою еталонний фотоприймач, розташований на платі в отворі змінної півпластини та орієнтований на отвір верхньої пластини.

Запропонована корисна модель належить до області дослідження речовин шляхом визначення їх фізичних властивостей і може бути застосована при визначенні флуоресценції нативного хлорофілу інтактного листка рослини з метою діагностики стану рослини. Запропонований пристрій можна визначати як багатофункціональний біосенсор, де чутливим елементом є нативний хлорофіл, тобто хлорофіл листка не відокремленого від рослини.

Відомо «Оптоелектронний сенсор» [патент UA 13481 від 17.04.2006. Бюл. №4]. Сенсор містить зажим, що складається з двох з'єднаних рухомих пластин, фотоприймач та світлофільтр, розташовані у світлозахисному кожусі, та додатково міс-

тить світлодіоди та каркас з отворами, розташовані у корпусі, причому у центральному отворі каркаса встановлено світлофільтр та фотоприймач, а бокові отвори, з розміщеними в них світлодіодами, розташовані попарно на протилежних кінцях каркаса симетрично центральному отвору та під кутом до нього так, що оптичні осі світлодіодів та фотоприймача перетинаються на нижній пластині зажима під кутом 20 - 45°.

Спільними рисами аналогу та запропонованого сенсора є затискач, що складається з двох з'єднаних рухомих пластин, фотоприймач із світлофільтром над отвором верхньої пластини під світлозахисним кожухом та світлодіоди, розташо-

U  
(13)  
54901  
(11)  
UA  
(19)

вані попарно симетрично навколо отвору так, що їх оптичні осі перетинаються з оптичною віссю фотоприймача на нижній пластині.

Причиною, що заважає отримати очікуваний технічний результат, є те, що сенсор аналог не дозволяє змінювати режими одержання сигналів індукції флуоресценції та здійснювати калібровку сенсора.

Найближчим по суті до запропонованого сенсора є «Сенсор» заявка на винахід № а200911909 від 20.11.2009.

Сенсор, який включає затискач, що складається з двох з'єднаних рухомо пластин, фотоприймач, світлофільтр, світлозахисний кожух, розташовані на верхній пластині затискача з отвором, світлодіоди і фотоприймач, які розташовані так, що їх оптичні осі перетинаються на нижній пластині затискача, додатково містить інжекторно-сорбційну камеру, освітлювальну камеру, другий світлофільтр і фотоприймачі та отвір в нижній пластині затискача, соосний з отвором верхньої пластини затискача, причому світлофільтри розташовані в отворі верхньої пластини затискача, перший і другий фотоприймачі розташовані над світлофільтрами, третій фотоприймач розміщений між світлофільтрами, а під верхньою пластиною затискача розташована освітлювальна камера, в якій навколо отвору верхньої пластини затискача, попарно симетрично розміщені світлодіоди, зовні освітлювальна камера оточена ущільнюючою манжетою, а інжекторно-сорбційна камера розташована в отворі нижньої платини затискача так, що її верхня грань виступає над нижньою пластиною затискача на товщину ущільнюючої прокладки, що її охоплює, а також світлофільтри мають діапазони хвиль пропускання світла з максимумами, рівними максимумам флуоресценції сполук листка рослини, а також світлодіоди мають діапазони хвиль випромінювання з максимумами в діапазонах хвиль поглинання пігментів листка рослини, а також верхня грань інжекторно-сорбційної камери є пористою, бокові грані мають вхідний та вихідний штуцери, а дно камери виконано зйомним, внутрішня поверхня освітлювальної камери виконана світловідбиваючою.

Спільними рисами запропонованого пристрою та сенсора найближчого аналога є затискач, що складається з двох рухомо з'єднаних пластин, фотоприймачі, розташовані над світлофільтрами, що знаходяться в отворі верхньої пластини, під світлозахисним кожухом, світлодіоди, розміщені попарно - симетрично навколо отвору під верхньою пластиною затискача та оточені ущільнюючою манжетою, а нижня пластина має отвір, співвісний з отвором верхньої пластини.

Причиною, що заважає отримати очікуваний технічний результат є те, що сенсор найближчий аналог не дозволяє змінювати режими одержання сигналів індукції флуоресценції нативного хлорофілу та здійснювати калібровку сенсора, зокрема в малогабаритних сенсорах.

В основу корисної моделі поставлена задача створення такого багатофункціонального малогабаритного сенсора для кріплення на інтактному листку рослини, в якому завдяки введенню нових

елементів та зв'язків між ними стало б можливим змінювати режими вимірювань сигналів індукції флуоресценції шляхом впливу на фотосинтетичний апарат та здійснювати калібровку сенсора.

Вирішення поставленої технічної задачі досягається тим, що запропонований сенсор включає затискач, що складається з двох рухомо з'єднаних пластин, фотоприймачі, розташовані над світлофільтрами, що знаходяться в отворі верхньої пластини, під світлозахисним кожухом, світлодіоди, розміщені попарно симетрично навколо отвору під верхньою пластиною затискача та оточені ущільнюючою манжетою, а нижня пластина має отвір, співвісний з отвором верхньої пластини, та виконана роз'ємною і включає змінну з отвором і фіксовану напівпластину, скріплені фіксатором, а в отворі змінної півпластини напроти отвору верхньої пластини розташовано режимозадавальний модуль, охоплений ущільнюючою прокладкою, а також в ньому:

Режимозадавальний модуль може являти собою мікротерези у вигляді селективного сорбента, нанесеного на грань кварцевого резонатора та закритого зверху пористим шаром.

Режимозадавальний модуль може являти собою термоелектричний мікрохолодильник з термодатчиком на верхній охолодженій поверхні.

Режимозадавальний модуль може являти собою електричний нагрівач - термодатчик у вигляді резистора з титан - нікелевого сплаву, який нанесено на поліамідну плівку покрити з другого боку алюмінієвою фольгою та розташованого на теплоізоляторі.

Режимозадавальний модуль може являти собою червоний та інфрачервоний світлодіоди розташовані на платі в отворі змінної півпластини і орієнтовані на отвір верхньої пластини.

Режимозадавальний модуль може являти собою пластину скляного світлофільтра ОС-14.

Режимозадавальний модуль може являти собою еталонний фотоприймач розташований на платі в отворі змінної півпластини та орієнтований на отвір верхньої пластини.

Відмінними ознаками запропонованого сенсора є те, що в ньому нижня пластина виконана роз'ємною і включає змінну з отвором і фіксовану півпластину, скріплені фіксатором, а в отворі змінної півпластини напроти отвору верхньої пластини розташовано режимозадавальний модуль, охоплений ущільнюючою прокладкою.

Режимозадавальний модуль може являти собою мікротерези у вигляді селективного сорбента, нанесеного на грань кварцевого резонатора та закритого зверху пористим шаром.

Режимозадавальний модуль може являти собою термоелектричний мікрохолодильник з термодатчиком на верхній охолодженій поверхні.

Режимозадавальний модуль може являти собою електричний нагрівач - термодатчик у вигляді резистора з титан - нікелевого сплаву, який нанесено на поліамідну плівку покрити з другого боку алюмінієвою фольгою та розташованого на теплоізоляторі.

Режимозадавальний модуль може являти собою червоний та інфрачервоний світло діоди, роз-

ташовані на платі в отворі змінної півпластини і орієнтовані на отвір верхньої пластини.

Режимозадавальний модуль може являти собою пластину скляного світлофільтра ОС-14.

Режимозадавальний модуль може являти собою еталонний фотоприймач, розташований на платі в отворі змінної напівпластини та орієнтований на отвір верхньої пластини.

Введення у сенсор режимозадавального модуля, розташованого в отворі змінної півпластини роз'ємної нижньої пластини, дозволяє шляхом зміни модуля задавати необхідний режим вимірювань сигналів індукції флуоресценції, зокрема визначати показники термоіндукції, визначати вплив низьких температур, зважувати продигові виділення продуктів метаболізму, вимірювати концентрацію хлорофілу, тощо.

Запропонований сенсор ґрунтується на використанні чутливості фотосинтетичного апарата рослин до впливу зовнішніх чинників, які задають шляхом вибору режимів вимірювань.

На Фіг.1 схематично зображено запропонований сенсор.

На Фіг.2 ÷ 7 схематично зображені варіанти режимозадавального модуля.

Запропонований сенсор (Фіг.1) містить затискач 1, з'єднані рухомо пластини 2, 3, фотоприймачі 4, розташовані над світлофільтрами 5, що знаходяться в отворі верхньої пластини 2 під світлозахисним кожухом 6. Під верхньою пластиною навколо отвору, попарно симетрично розташовані світлодіоди 7, охоплені ущільнюючою манжетою 8. Роз'ємна нижня пластина включає фіксовану півпластину 3 та змінну півпластину 9 з отвором, співвісним з отвором верхньої пластини та фіксатор 10, який з'єднує півпластини в суцільну нижню пластину. В отворі змінної півпластини 9 розташовано режимозадавальний модуль 11, охоплений ущільнюючою прокладкою 12.

Варіанти режимозадавального модуля 11 в залежності від призначення сенсора мають різну будову.

Наприклад, режимозадавальний модуль (Фіг.2) призначений для визначень виділень листка через продигові. Режимозадавальний модуль включає кварцевий резонатор 13 з нанесенням на його грань селективним сорбентом 14, який зверху покритий захисним пористим шаром 15 (плівкою або керамікою) і розміщений в отворі змінної півпластини 9 так, що його пориста поверхня знаходиться на рівні ущільнюючої прокладки 12.

Режимозадавальний модуль (Фіг.3) призначений для охолодження фрагмента листка при вимірюваннях індукції флуоресценції і включає електротермоелемент 16, розміщений в отворі змінної півпластини та термодатчик 17, розташований на охолоджуючій поверхні електротермоелемента так, що його поверхня знаходиться на рівні ущільнюючої прокладки 12.

Режимозадавальний модуль (Фіг.4) призначений для нагрівання і вимірювання температури фрагмента листка в зоні опромінення. Режимозадавальний модуль (Фіг.4) включає резистор з титан - нікелевого сплаву 18, який нанесено на поліамідну плівку 19 і покритий з другого боку алюмінієвою

фольгою 20. Такий багатошаровий елемент лежить на теплоізоляторі 21 і розміщений в отворі змінної півпластини 9 так, що поверхня плівки 19 знаходиться на рівні ущільнюючої прокладки.

Режимозадавальний модуль (Фіг.5) призначений для визначення концентрації хлорофілу і включає червоний 22 та інфрачервоний 23 світлодіоди, розташовані на платі 24, яка розміщена в отворі змінної півпластини так, що поверхня світлодіодів знаходиться нижче рівня ущільнюючої прокладки на 2-3мм.

Режимозадавальний модуль (Фіг.6) призначений для калібровки сенсора в одиницях сигналу флуоресценції і включає пластину скляного світлофільтра 25 ОС-14, розташовану в отворі змінної півпластини 9.

Режимозадавальний модуль (Фіг.7) призначений для калібровки інтенсивності опромінення на хвилі 470 або 640нм і включає калібрований фотоприймач 26 розміщений на платі 24, яка розташована так, що поверхня фотоприймача знаходиться на рівні ущільнюючої прокладки.

Сенсор працює наступним чином лист рослини розміщують між пластинами 2,3 затискача 1 так, щоб досліджувані фрагмент листа розташовувати між отворами верхньої 2 і змінної 9 пластин. Лист опромінюють світлодіодами 7. Індуковану флуоресценцію хлорофілу листка через світлофільтр 5 сприймають фотоприймачі 4, які перетворюють оптичні сигнали в електричні для подальшого підсилення, вимірювання і запам'ятовування.

Необхідна інтенсивність і рівномірність опромінення забезпечується вибором світлодіодів 7, попарно - симетричним їх розташуванням навколо отвору верхньої пластини. Довжину хвилі випромінювання світлодіодів вибирають в залежності від спектральних характеристик поглинання об'єкту. Збудження флуоресценції хлорофілу виконують у спектральному діапазоні його поглинання, тобто в діапазоні фотосинтетично активної радіації (ФАР) від 390 до 730нм. В цьому діапазоні існують два основні максимуми поглинання нативного хлорофілу на хвилях 430 і 660нм та два слабо виражених (500 і 600нм). За межами цього діапазону збудження флуоресценції хлорофілу взагалі малоефективне. Крім того, інші пігменти рослин, що поглинають світло і передають енергію на реакційні центри хлорофілу, характеризуються максимумами поглинання у тому ж діапазоні. При збудженні флуоресценції на хвилях більше 660нм виникають значні суто технічні труднощі при виділенні сигналів флуоресценції у діапазонах хвиль від 670 до 770нм на фоні збуджуючого опромінення, оскільки в цьому випадку потрібні вузькосмугові світлофільтри. Вибираючи хвилю збудження флуоресценції нативного хлорофілу, враховують, з одного боку, максимум поглинання ( $\lambda=430\text{нм}$ ), а з іншого, технічні складнощі виділення сигналу флуоресценції на фоні опромінення, тобто  $\lambda<600\text{нм}$ . Тому оптимальним для збудження флуоресценції хлорофілу є діапазон від 400 до 660нм. Для хлорофілу вибрано довжини хвиль опромінення  $\lambda_1=460\text{нм}$  та  $\lambda_2=640\text{нм}$ .

Довжину хвилі пропускання світлофільтрів вибирають в залежності від спектрів флуоресценції об'єкта. Флуоресценцію хлорофілу спостерігають в усьому діапазоні хвиль від 670 до 770нм з вираженими максимумами на 680 та 730нм. На хвилі 680нм флуоресценцію пов'язують здебільшого з роботою фотосистеми II, а флуоресценцію на хвилі 730нм - з фотосистемою I. Тому вимірювання флуоресценції в усьому діапазоні від 670 до 770нм посередньо охоплює роботу обох фотосистем фотосинтезу. Сигнали флуоресценції на фоні опромінення виділяють з допомогою спектральних приладів, зокрема світлофільтрів з відповідною смугою пропускання від 670 до 770нм, наприклад, скляних або майларових. Використання інтерференційних світлофільтрів з вузькою полоскою пропускання ( $\pm 5$ нм) ускладнює вимірювання сумарної флуоресценції в діапазоні 670÷770нм, а використання широкополосних світлофільтрів ускладнює роздільне визначення флуоресценції на максимумах флуоресценції хлорофілу. Крім того, світлофільтри не повинні пропускати випромінювання світлодіодів. Тому пропускання першого світлофільтра повинно починатися з довжини хвилі  $\lambda_1 > 650$ нм, а другого  $\lambda_2 > 700$ . Пропускання обох світлофільтрів 4 повинно охоплювати червону та ближню інфрачервону область (до 1000нм). Таким чином задовольняють світлофільтри КС-17. З початком пропускання  $\lambda_{n1} = 650$ нм та КС-19 з початком пропускання  $\lambda_{n2} = 695$ нм. При цьому сигнал з другого фотоприймача 3 після першого світлофільтра 4 КС-19 відповідатиме флуоресценції з максимумом на 730нм, сигнал з другого фотоприймача 3 після другого світлофільтра 4 КС-17 відповідатиме сумарній флуоресценції в діапазоні 670÷770нм, а їх різниця відповідатиме флуоресценції з максимумом на 680нм. Таким чином досягається роздільне визначення флуоресценції на хвилях 680нм і 730нм та визначення сумарної флуоресценції в діапазоні 670÷770нм.

Основним призначенням сенсора є одержання характерних (реперних) показників індукції флуоресценції нативного хлорофілу з метою подальшого використання їх в якості функціональних діагностичних показників стану рослин.

З поточних значень флуоресценції визначають характерні, реперні значення індукції флуоресценції. Відомо, що окремі характерні значення індукції флуоресценції є індикаторами відповідних фотохімічних процесів у ланцюгу фотосинтезу, зокрема передачі енергії збудження, викликаного поглинутими квантами світла, по електрон - транспортному ланцюгу. Порушення окремих ланок фотосинтезу викликані екзо та ендогенними чинниками, проявляються в характерних змінах відповідних значень індукції флуоресценції.

Значення екзогенних (зовнішніх) чинників за межами діапазону оптимальних значень суттєво впливають на характерні значення індукції флуоресценції. Це дозволяє виявити приховані порушення або стійкість фотосинтетичного апарату, викликані господарськими впливами (добрива, технології, хвороби, хімічні та біологічно активні речовини, тощо). Для виявлення таких впливів використовують різні контрольовані режими вимі-

рювань, зокрема вимірювання при високих та низьких температурах, різних режимах освітлення, концентраціях хлорофілу, контрольованих процесах метаболізму (транспірація, дихання, тощо). Можливості здійснення зазначених режимів вимірювань в одному сенсорі ускладнюють польові умови роботи, обмежені габарити, вага та енергоспоживання сенсора. Тому для різних діагностичних задач використовують різні сенсори. Спільними рисами таких сенсорів є опромінення листка, виділення сигналів флуоресценції та їх перетворення в електричний сигнал. Ці функції виконують світлодіоди, світлофільтри та фотоприймачі, змонтовані на верхній пластині затискача під світлозахисним кожухом. Вибрані режими вимірювань здійснюють шляхом прикріплення відповідного режимозадавального модуля, змонтованого на змінній напівпластині, до фіксованої півпластини з допомогою фіксатора.

При цьому режимозадавальний модуль (Фіг.2) працює наступним чином: листок рослини розміщують між пластинами затискача в зоні отворів, продихами до пористої поверхні захисного шару. Виділення листка з продихів через пористу поверхню проникають до сорбенту і накопичуються в ньому. При цьому частота кварцевого резонатора змінюється протягом експозиції від початку опромінення до його закінчення. Різниця частот на початку і в кінці експозиції буде еквівалентна поглинутій масі метаболіту.

Режимозадавальний модуль (Фіг.3) працює наступним чином: при подачі живлення одна з поверхонь електротермоелемента охолоджується і охолоджує фрагмент листка рослини. Термодатчик дозволяє вимірювати температуру листка для контролю, регулювання та термостабілізації.

Режимозадавальний модуль по (Фіг.4) працює наступним чином: при подачі живлення струмом 100мА резистор нагрівається і нагріває фрагмент листка, при подачі струму 10мА резистор використовують як датчик температури для вимірювання і терморегуляції.

Режимозадавальний модуль (Фіг.5) працює наступним чином: визначення концентрації нативного хлорофілу ґрунтується на однаковому поглинанні червоного та інфрачервоного світла структурами листка: судинами, оболонками клітин, міжклітинною рідиною, тощо і селективному поглинанні червоного світла хлорофілом хлоропластів. Різниця в поглинанні буде пропорційна концентрації хлорофілу, тому спочатку вирівнюють інтенсивності падаючого на лист червоного та інфрачервоного опромінення, а потім по чергову опромінюють лист і роздільно вимірюють інтенсивності пропущеного червоного та інфрачервоного світла і визначають їх різницю, яка і буде пропорційна концентрації хлорофілу.

Режимозадавальний модуль (Фіг.6) працює наступним чином: пластинка скляного світлофільтра ОС-14, подібно до нативного хлорофілу, при опроміненні світлом на хвилі  $\lambda = 470$ нм. випромінює світло в червоній області з відомим квантовим виходом у діапазоні 60÷80%. Тому перед вимірюванням флуоресценції без присутності листка можна здійснити калібровку сенсора.

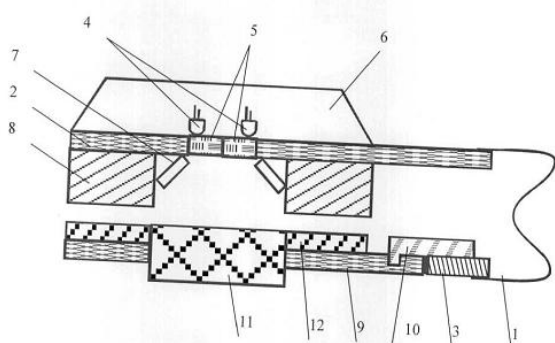
Режимозадавальний модуль (Фіг.7) працює наступним чином: у відсутності листка при подачі живлення на світлодіоди 7 Фіг.1 вимірюють сигнал еталонного фотоприймача, який буде пропорційним інтенсивності освітлення фрагмента листка.

При реалізації сенсора використана доступна GMD елементна база і сучасні технології зборки, зокрема сині, червоні та інфрачервоні світлодіоди опромінення та фотодіоди. Термодатчиком є резистор з опором 400 Ом і потужністю 0,5Вт з габари-

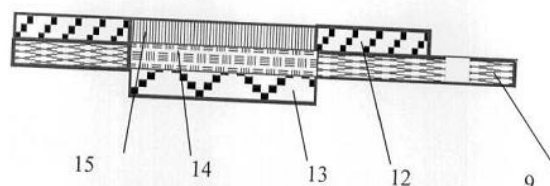
тами 8×8×0,2мм. Електротермохолодильник потужністю до 7Вт має габарити 10×10×3,5мм.

В якості мікротерез використано кварцевий датчик вологості гігрометра «Волна - 2» з габаритами 15×10×6мм. Еталоном флуоресценції є пластина скляного світлофільтра ОС-14 розмірами 10×10мм.

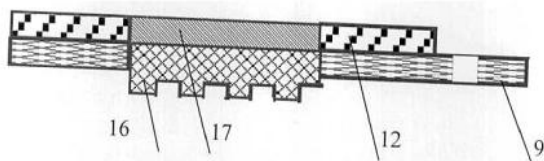
Запропонований сенсор, як видно з його опису, може бути реалізований у виробничих умовах, так як для його реалізації використовується технічна та елементна база широкого призначення.



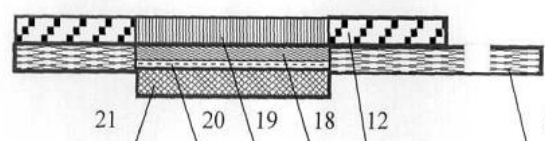
Фіг. 1



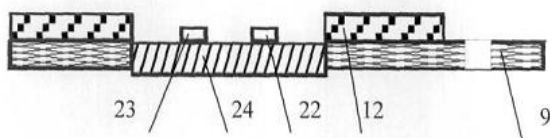
Фіг. 2



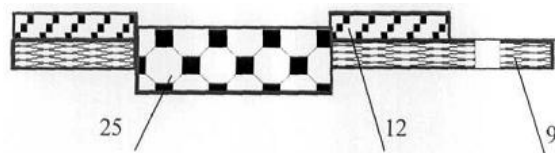
Фіг. 3



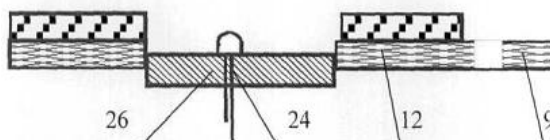
Фіг. 4



Фіг. 5



Фіг. 6



Фіг. 7