



УКРАЇНА

(19) UA (11) 94814 (13) C2
(51) МПК
G01N 21/64 (2006.01)МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІОПИС
ДО ПАТЕНТУ НА ВІНАХІД

(54) СЕНСОР ХЛОРОФІЛУ

1

2

(21) а200911909

(22) 20.11.2009

(24) 10.06.2011

(46) 10.06.2011, Бюл.№ 11, 2011 р.

(72) АРТЕМЕНКО ДМИТРО МИХАЙЛОВИЧ, ВОЙ-
ТОВИЧ ІГОР ДАНИЛОВИЧ, КИТАЄВ ОЛЕГ ІГО-
РОВИЧ, КЛОЧАН ПЕТРО СТЕПАНОВИЧ, КОЛЕС-
НИК ЮРІЙ СТЕПАНОВИЧ, РОМАНОВ
ВОЛОДИМИР ОЛЕКСАНДРОВИЧ, ФЕДАК ВОЛО-
ДИМИР СЕМЕНОВИЧ, ШПИЛЬОВИЙ ПАВЛО БО-
РИСОВИЧ(73) ІНСТИТУТ КІБЕРНЕТИКИ ІМ. В.М. ГЛУШКОВА
НАН УКРАЇНИ

(56) UA 13485 U, 17.04.2006

UA 13481 U, 17.04.2006

UA 32155 U, 12.05.2008

RU 2007136907, 10.04.2009

US 4768390 A, 06.09.1988

EP 0492961 A2, 01.07.19992

EP 0354745 A2, 14.02.1990

(57) 1. Сенсор хлорофілу, який включає затискач,
що складається з двох з'єднаних рухомо пластин,
фотоприймач, світлофільтр і світлозахисний ко-
жух, розташований на верхній пластині затискача з
отвором, а також світлодіоди та фотоприймач, які
розташовані так, що їх оптичні осі перетинаються
на нижній пластині затискача, який відрізняється
тим, що додатково містить інжекторно-сорбційну
камеру, освітлювальну камеру, другий світло-
фільтр та додаткові фотоприймачі, отвір в нижній

пластині затискача виконаний співвісним з отво-
ром верхньої пластини затискача, причому світ-
лофільтри розташовані в отворі верхньої пластини
затискача, перший і другий фотоприймачі розта-
шовані над світлофільтрами, третій фотоприймач
освітлювальна камера, в якій навколо отвору вер-
хньої пластини затискача, попарно симетрично
розміщений між світлофільтрами, а під верхньою
пластиною затискача розташована розміщені світ-
лодіоди, зовні освітлювальна камера оточена ущіль-
нюючою манжетою, а інжекторно-сорбційна ка-
мера розташована в отворі нижньої пластини
затискача так, що її верхня грань виступає над
нижньою пластиною затискача на товщину ущіль-
нюючої прокладки, що її охоплює.

2. Сенсор за п. 1, який відрізняється тим, що світ-
лофільтри мають діапазони довжин хвиль пропу-
скання світла з максимумами, рівними максима-
м флуоресценції сполук листка рослини.

3. Сенсор за п. 1, який відрізняється тим, що світ-
лодіоди мають діапазони довжин хвиль випроміню-
вання з максимумами в діапазонах довжин
хвиль поглинання пігментів листка рослини.

4. Сенсор за п. 1, який відрізняється тим, що
верхня грань інжекторно-сорбційної камери вико-
нана пористою, а дно камери – знімним, а бокові
грані мають вхідний та вихідний штуцери.

5. Сенсор за п. 1, який відрізняється тим, що вну-
трішня поверхня освітлювальної камери виконана
світловідбиваючою.

Запропонований пристрій належить до області
дослідження речовин шляхом визначення їх фізи-
чних властивостей і може бути застосований при
визначенні відбиття, поглинання та флуоресценції
нативного хлорофілу інтактного листка рослини у
польових умовах. Запропонований пристрій можна
визначити як біосенсор, де чутливим елементом є
нативний хлорофіл, тобто хлорофіл листка, не
відокремленого від рослини.

Відомий "Оптоелектронний сенсор" (патент UA
13485, 17.04.2006, Бюл. №4). Сенсор містить зати-
скач, що складається з двох з'єднаних рухомо
пластин з отворами та фотоприймач, розміщений

під світлозахисним кожухом на одній з пластин
затискача, а також червоний та інфрачервоний
світлодіоди і розсіюючий світлофільтр, розташова-
ний між світлодіодами та пластиною затискача, і
розміщені у світлозахисному кожусі на другій пла-
стині так, що оптичні осі червоного та інфрачерво-
ного світлодіодів перетинаються на фотоприймачі,
причому вхід інфрачервоного світлодіода з'єдна-
ний через перший потенціометр, перемикач і дру-
гий потенціометр з входом пристрою, а вхід чер-
воного світлодіода під'єднаний через перемикач та
другий потенціометр до входу пристрою, другі
входи червоного та інфрачервоного світлодіодів

(13) C2
(11) 94814

(19) UA

з'єднані між собою і з другим входом пристрою, виходи фотоприймача є виходами пристрою.

Спільними рисами запропонованого пристрою та аналога є затискач, що складається з двох з'єднаних рухомо пластин, фотоприймач та світлодіоди, орієнтовані на об'єкт і розміщені під світлозахисними кожухами на пластинах затискача.

Причиною, що заважає одержанню очікуваного технічного результату є те, що пристрій-аналог не дозволяє одержувати сигнали індукції флуоресценції, визначати вплив різних речовин, які потрапляють в лист рослин через продихи, та визначати відбиття з поверхні листа в синій і червоній області спектра.

Найближчим по суті до запропонованого пристрою є "Оптоелектронний сенсор" (патент UA 13481, 17.04.2006, Бюл. №4). Сенсор містить затискач, що складається з двох з'єднаних рухомо пластин, фотоприймач та світлофільтр, розташовані у світлозахисному кожусі, та додатково містить 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 затискача під кутом 20-45°.

Спільними рисами запропонованого пристрою та сенсора-прототипу є 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.

Причиною, що заважає одержанню очікуваного технічного результату є те, що пристрій-прототип не дозволяє визначати вплив різних речовин, які потрапляють в лист рослини через продихи, не дозволяє визначати інформативні показники флуоресценції та відбиття, зокрема роздільне визначення флуоресценції на хвилях 680 та 730 нм і відбиття в синій та червоній області спектра, а також зменшити витрати світлової енергії світлодіодів, яка не досягає опроміненої плями.

В основу винаходу поставлена задача створення такого сенсора хлорофілу, для визначення показників нативного хлорофілу інтактного листка рослини, в якому, завдяки введенню нових елементів та зміні структури відомих елементів з урахуванням властивостей хлорофілу, стало б можливим визначення структурних і функціональних властивостей хлорофілу і фотосинтезу, по показниках відбиття та індукції флуоресценції.

Вирішення поставленої технічної задачі досягається тим, що запропонований сенсор хлорофілу 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 затис-

кача, а також додатково містить інжекторно-сорбційну камеру, освітлювальну камеру, другий світлофільтр і фотоприймачі та отвір в нижній пластині затискача, співвісний 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 знімним, а також внутрішня поверхня освітлювальної камери виконана світловідбиваючою.

Відмітними ознаками запропонованого сенсора хлорофілу є те, що він додатково містить інжекторно-сорбційну камеру, освітлювальну камеру, другий світлофільтр і фотоприймачі та отвір в нижній пластині затискача, співвісний 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 знімним, а також внутрішня поверхня освітлювальної камери виконана світловідбиваючою.

Введення у відомий сенсор інжекторно-сорбційної камери з пористою верхньою гранню, освітлювальної камери з відбиваючою внутрішньою поверхнею двох світлофільтрів з вибраними смугами пропускання, трьох фотоприймачів та режимів випромінювання світлодіодів на вибраних довжинах хвиль дозволяє здійснювати роздільне і сумарне визначення флуоресценції фотосистеми

II і фотосистеми I та визначення відбиття світла на довжинах хвиль поглинання хлорофілу, здійснювати вплив реагентів або сорбентів на лист рослини через його проходи та ефективно використовувати випромінення світлодіодів.

На фіг.1 схематично зображено розріз сенсора хлорофілу.

На фіг.2 схематично зображена інжекторно-сорбційна камера.

Сенсор хлорофілу містить затискач, що складається з пластин затискача з отворами 1, 2, з'єднаних рухомо, фотоприймачі 3 і світлофільтри 4, які розміщені в отворі верхньої пластини 2 затискача. Перший фотоприймач 3 розміщено між світлофільтрами 4, а другий і третій фотоприймачі 3 розташовані над світлофільтрами 4 під захисним світлозахисним кожухом 5. Під верхньою пластинною 2 затискача розташована освітлювальна камера 8, в якій навколо отвору верхньої пластини 2 затискача, попарно симетрично розміщені світлодіоди 6, зовні освітлювальна камера 8 оточена ущільнюючою манжетною 9, яка закріплена на верхній пластині 2 затискача. В отворі нижньої пластини 1 затискача розташована інжекторно-сорбційна камера 7. Верхня грань 10 інжекторно-сорбційної камери 7 (фіг.1) виступає над нижньою пластинною 1 затискача на товщину ущільнюючої прокладки 11, що її охоплює. Верхня грань 10 інжекторно-сорбційної камери 7 (фіг.2) виконана пористою, бокові грані мають вхідний 12 та вихідний 13 штуцери, а дно 14 інжекторно-сорбційної камери 7 виконано знімним.

Сенсор хлорофілу працює наступним чином: Лист рослини розміщують між пластинами 1, 2 затискача і подають живлення на світлодіоди 6. Опромінення листка випромінюванням світлодіодів 6 збуджує флуоресценцію хлорофілу, яку через світлофільтри 4 сприймають два фотоприймачі 3, які розташовані в отворі верхньої пластини 2 затискача, а перший фотоприймач 3 сприймає відбите світло. Фотоприймачі 3 перетворюють оптичні сигнали в електричні для подальшого підсилення і вимірювань.

Необхідна інтенсивність і рівномірність опромінення забезпечується вибором світлодіодів 6, попарно-симетричним їх розташуванням в основі освітлювальної камери 7. Довжину хвилі випромінювання світлодіодів вибирають в залежності від спектральних характеристик поглинання об'єкта. Збудження флуоресценції хлорофілу виконують у спектральному діапазоні його поглинання, тобто в діапазоні фотосинтетично активної радіації (ФАР) від 390 до 730 нм. В цьому діапазоні існують два основні максимуми поглинання нативного хлорофілу на хвилях 430 і 660 нм та два слабовиражених (500 і 600 нм). 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 660 нм виникають значні суто технічні труднощі при виділенні сигналів флуоресценції у діапазонах хвиль від 670 до 770 нм на фоні збуджуючого опромінен-

ня, оскільки в цьому випадку потрібні вузькосмугові світлофільтри. Вибираючи хвилю збудження флуоресценції нативного хлорофілу, враховують, з одного боку, максимум поглинання ($\lambda=430$ нм), а з іншого, технічні складнощі виділення сигналу флуоресценції на фоні опромінення, тобто $\lambda \leq 600$ нм. Тому оптимальним для збудження флуоресценції хлорофілу є діапазон від 400 до 660 нм. Для хлорофілу вибрано довжини хвиль опромінення $\lambda_1=460$ нм та $\lambda_2=640$ нм.

Довжину хвилі пропускання світлофільтрів вибирають в залежності від спектрів флуоресценції об'єкта. Флуоресценцію хлорофілу спостерігають в усьому діапазоні хвиль від 670 до 770 нм з вираженими максимумами на 680 та 730 нм. На хвилі 680 нм флуоресценцію пов'язують здебільшого з роботою фотосистеми II, а флуоресценцію на хвилі 730 нм - з фотосистемою I. Тому вимірювання флуоресценції в усьому діапазоні від 670 до 770 нм 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 770 нм, наприклад, скляних або майларових. Використання інтерференційних світлофільтрів з вузькою полоскою пропускання (± 5 нм) ускладнює вимірювання сумарної флуоресценції в діапазоні 670÷770 нм, а використання широкосмугових 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 1000 нм). Таким вимогам 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 730 нм, сигнал з другого фотоприймача 3 після другого світлофільтра 4 КС-17 відповідатиме сумарній флуоресценції в діапазоні 670÷770 нм, а їх різниця відповідатиме флуоресценції з максимумом на 680 нм. Таким чином досягається роздільне визначення флуоресценції на хвилях 680 нм і 730 нм та визначення сумарної флуоресценції в діапазоні 670÷770 нм.

Перший фотоприймач 3 без світлофільтра дозволяє визначати сигнал відбиття на довжинах хвиль резонансного поглинання хлорофілу, а при відомій інтенсивності опромінення, яка залежить від випромінювання світлодіодів 6, можна визначити коефіцієнт поглинання, який пропорціональний поверхневій концентрації хлорофілу.

Інжекторно-сорбційна камера 7 (фіг.2) призначена для подачі реагента через верхню пористу грань 10 до продихів листка рослини при визначеннях впливів реагентів на фотосинтез, а тим самим на індукцію флуоресценції. У сорбційному режимі сорбент, розміщений на дні камери, здійснює відбір продуктів метаболізму листка через його продихи та пористу грань. В інжекторному

режимі реагент проникає в породи листка у зворотному напрямку. Реагентом або сорбентом у вигляді рідини змочують фільтрований папір, розміщують його на знімному дні 14 і прикріплюють дно до камери.

В сенсорі хлорофілу використані особливості збудження флуоресценції нативного хлорофілу світлом на довжинах хвиль з максимумами на $\lambda_1=460$ нм та $\lambda_2=640$ нм, а також особливості відбиття та флуоресценції хлорофілу для вимірювань і визначень характерних значень і показників індукції флуоресценції та впливу на них різних чинників, зокрема хімічних реагентів. Опромінення здійснюють в режимах: ML - вимірюючого світла, SP - спалахів насичуючого світла, AL - діючого (актиничного) світла та FR - червоного світла, збуджуючо-

го фотосистему I. Режими характеризуються різною інтенсивністю і тривалістю опромінення.

Освітлювальна камера 8 забезпечує більш раціональне використання випромінювання світлодіодів 6 за рахунок відбиваючої внутрішньої поверхні. Це дозволяє отримати більшу освітленість без збільшення споживання живлення.

При виготовленні сенсора хлорофілу були використанні SMD елементи, суперяскраві світлодіоди - сині UL-PT-160811183 та червоні UL-A-3528421FC, фотоприймачі S9067-01 Photo isMDC (-5) або фотодіоди S7184.

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

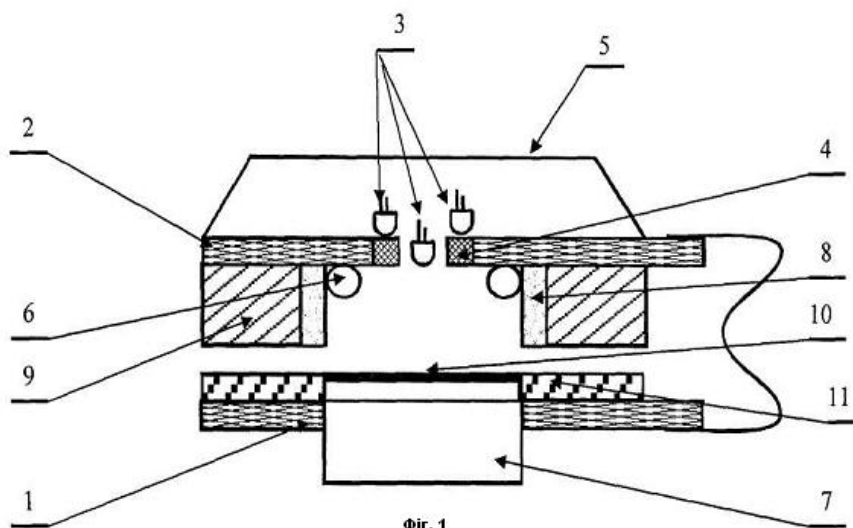


Fig. 1

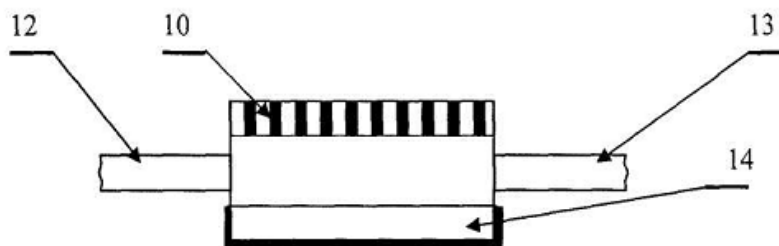


Fig. 2