Réf : ONSAR3184

Une nouvelle ère dans la technologie des capteurs électrochimiques

Par : Hideo Kondo, Product Marketing Engineer, Analog Mixed-Signal Group, onsemi

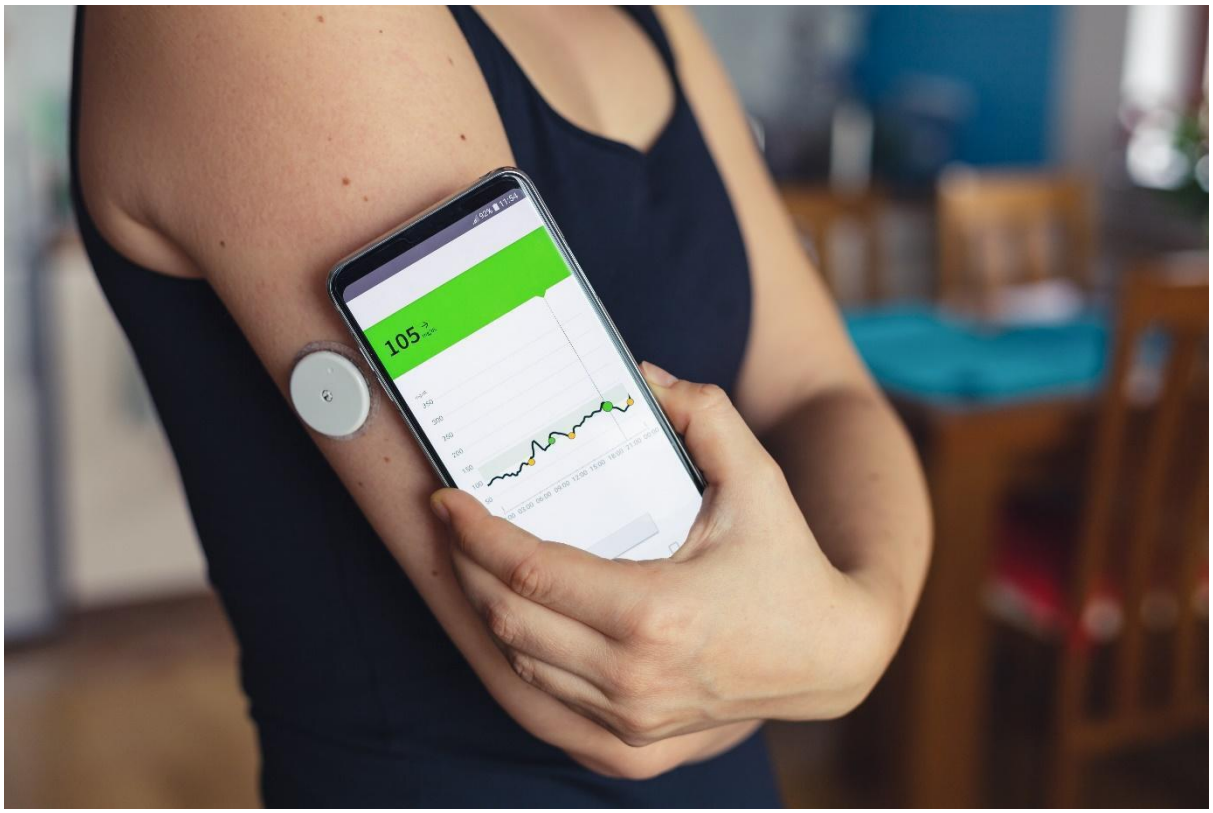

Figure 1 – Les dispositifs de surveillance de santé intelligents et les appareils portables sont une application clé des plates-formes de capteurs avancées (Source : Adobe Stock)

À la pointe de l'exploration scientifique, la détection électrochimique est un outil indispensable et adaptable qui a un impact sur un large éventail d'industries. Des sciences de la vie et de l'environnement aux matériaux industriels et à la transformation des aliments, la capacité de quantifier les produits chimiques permet de mieux comprendre les choses, en améliorant la sécurité, l'efficacité et la sensibilisation.

À l'ère des technologies interconnectées avancées, on ne saurait trop insister sur l'importance des capteurs électrochimiques à faible consommation et de haute précision. Dans nos maisons, les appareils connectés nous permettent de surveiller la qualité de l'air, de l'eau et du sol pour nos plantes. Dans l'ensemble du secteur, la demande est encore plus forte. Les dispositifs médicaux intelligents, y compris les appareils portables, font entrer les soins de santé dans le XXIe siècle en assurant une surveillance continue en temps réel des paramètres vitaux des patients, tant à l'intérieur qu'à l'extérieur des établissements cliniques, ce qui permet d'améliorer la compréhension et la qualité des soins.

De même, l'expansion de l'industrie 4.0 dans la fabrication et l'automatisation industrielle a vu de nombreux secteurs déployer de vastes réseaux de nœuds de détection afin d'améliorer leur efficacité et leur sécurité. Les capteurs peuvent surveiller les gaz toxiques produits au cours de divers processus industriels et permettent d'activer des systèmes de rétroaction dans les équipements industriels. Dans la transformation des aliments, la détection des substances altérantes et allergènes est essentielle : des capteurs électrochimiques aident à automatiser la vérification du goût avant la cuisson, en signalant les niveaux de pH et en détectant les histamines.

Qu'il s'agisse de surveiller les taux de glucose chez les patients diabétiques, d'évaluer les polluants environnementaux, de garantir la sécurité alimentaire ou de caractériser les matériaux au niveau atomique, les capteurs électrochimiques jouent un rôle essentiel dans l'avancement des connaissances scientifiques et l'amélioration de notre qualité de vie.

Dans cet article, nous explorerons les principes qui sous-tendent la détection électrochimique, les exigences pour des performances efficaces des capteurs, la façon dont un dispositif frontal analogique (*analog front-end*, AFE) peut constituer un moyen efficace pour la mesure et l'analyse du courant et nous approfondirons des exemples spécifiques sur la façon dont ces capteurs sont utilisés dans les applications médicales, environnementales, alimentaires et de la science des matériaux.

Comprendre les exigences en matière de mesures électrochimiques et de capteurs

La configuration typique d'un capteur électrochimique en électronique implique un système à trois électrodes, une disposition que l'on retrouve dans de nombreux autres types de capteurs (Figure 2).

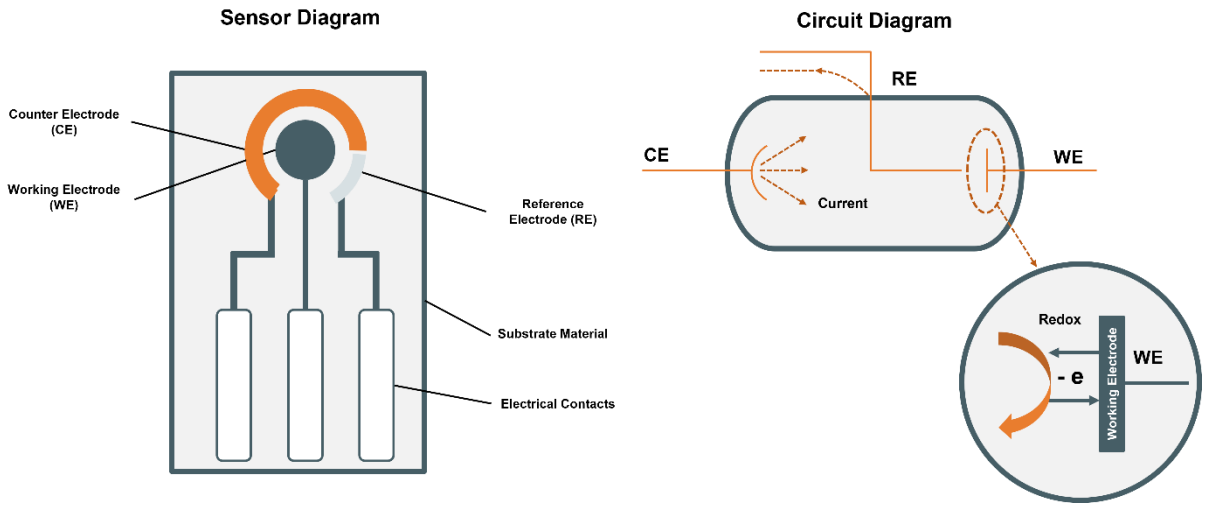

Figure 2 – Deux diagrammes qui indiquent la construction d'un capteur électrochimique typique (Source : onsemi)

À l'intérieur du capteur, il y a un matériau de surface sur substrat qui agit comme une couche protectrice pour l'électrode de détection. La fonction principale de ce matériau est de réguler la quantité de molécules qui peuvent accéder à la surface de l'électrode et de filtrer toutes les particules indésirables qui pourraient avoir un impact sur la précision du capteur.

Le cœur du capteur se compose de trois éléments principaux. L'électrode de travail (*working electrode*, WE) est l'endroit où la réaction électrochimique a lieu. Lorsque les particules touchent la WE, une réaction se produit, créant soit une perte, soit un gain d'électrons, conduisant à un flux d'électrons et à la production de courant. Le maintien d'un potentiel constant sur WE est vital, car il permet de mesurer avec précision le courant généré par les réactions d'oxydoréduction (Figure 2).

La contre-électrode (*counter electrode*, CE) fournit un courant suffisant pour équilibrer les réactions d'oxydoréduction se produisant sur la WE, créant ainsi une paire complémentaire. Tandis que l'électrode de référence (*reference electrode*, RE) sert à mesurer le potentiel de l'électrode WE et à fournir un retour pour établir la tension CE.

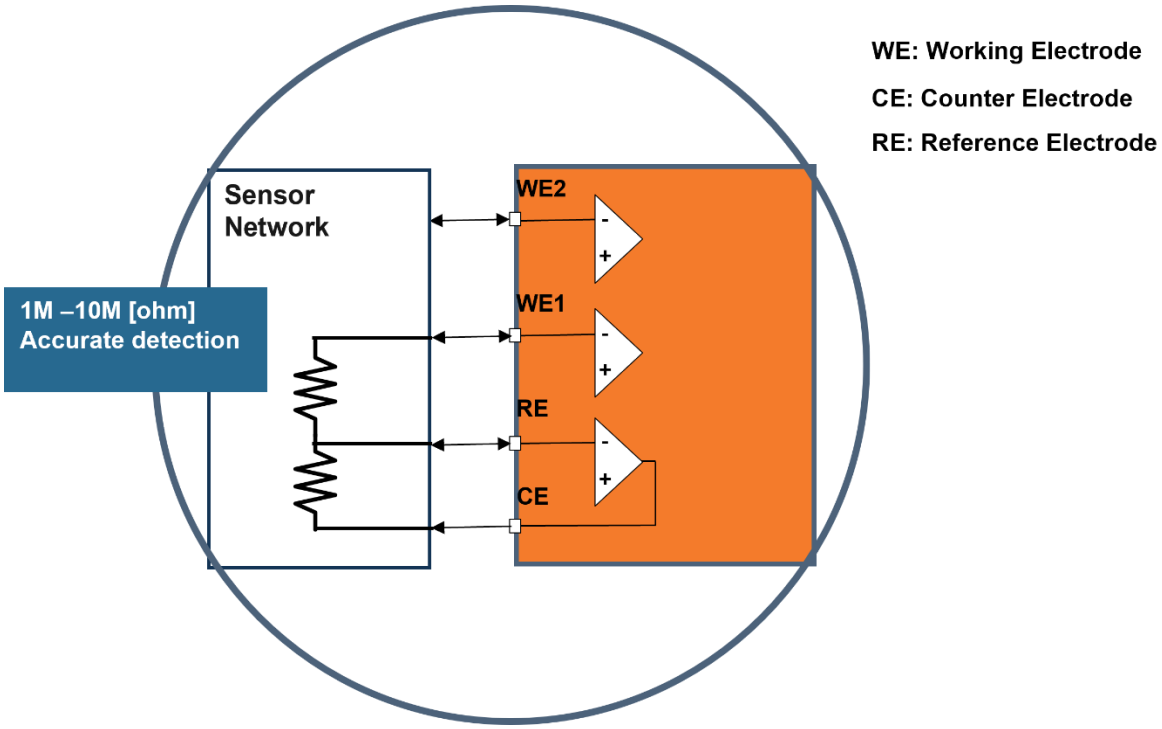

Figure 3 – Un schéma de circuit pour un capteur électrochimique onsemi (Source : onsemi)

La résistance côté haut dans un capteur électrochimique (Figure 3) est un facteur indésirable qu'il convient de minimiser, ce qui peut être obtenu en positionnant la RE à proximité de la WE. Le courant qui traverse la résistance du côté inférieur indique la sortie de la mesure électrochimique et est donc utilisé pour dériver la tension de sortie du capteur.

Exigences du capteur

Qu'un capteur électrochimique soit utilisé dans des applications grand public, médicales ou industrielles, il doit répondre à un certain nombre d'exigences techniques clés définies par les concepteurs. Des facteurs tels qu'une grande précision et un faible niveau de bruit vont de soi, mais les capteurs électrochimiques doivent également permettre un étalonnage simple pour répondre à une large gamme d'applications, car l'encapsulation ou l'utilisation peuvent influencer l'étalonnage, immédiatement ou au fil du temps.

De plus, de nombreux capteurs électrochimiques étant déployés dans des solutions portables ou à faible consommation d'énergie, telles que les technologies médicales portables ou les nœuds technologiques industriels, un certain nombre d'exigences en matière d'encapsulation doivent être satisfaites. Les ingénieurs ont besoin de solutions qui fonctionnent à faible consommation d'énergie, afin de prendre en charge des applications alimentées par batterie, et qui soient miniaturisées et flexibles, permettant diverses configurations de capteurs et une intégration aisée du système. Le prétraitement intelligent est une autre caractéristique importante surveillée par les ingénieurs, car il peut permettre un étalonnage et un filtrage du bruit plus sophistiqués, ce qui permet de fournir une transmission de données plus précise.

Applications courantes des capteurs en science

Les capteurs électrochimiques sont largement utilisés à plusieurs fins dans les sciences de la vie et les soins de santé, notamment pour détecter le taux d'alcoolémie et faciliter la surveillance continue de la glycémie (*continuous glucose monitoring*, CGM) – un élément essentiel dans la gestion du diabète, une maladie chronique qui touche 1 personne sur 11 dans le monde[1]. Le marché des dispositifs de CGM devrait croître à un taux de croissance annuel composé (*compound annual growth rate*, CAGR) de 9 % entre 2023 et 2032[2].

Ciblant les derniers dispositifs médicaux cliniques et portables, le CEM102 d'onsemi est un frontal analogique miniaturisé (analogue front end, AFE) à la pointe de la technologie conçu pour une mesure très précise des courants électrochimiques. Son mode de fonctionnement souple et efficace permet de ne consommer que 50 nA en mode désactivé, 2 uA en mode polarisé par capteur et 3,5 uA en mode de mesure active avec le CAN 18 bits convertissant en continu et supportant deux choix de batterie de 1,3 à 1,65 V et de 2,375 à 3,6 V. Cela se traduit par une autonomie de 14 jours, la meilleure du marché, avec une batterie de seulement 3 mAh. Le CEM102 prend en charge une à quatre électrodes et son boîtier compact de 1,884 x 1,848 mm permet des produits plus petits avec une autonomie de batterie plus longue, ce qui le rend parfait pour travailler dans les applications IoT. La combinaison d'une ultra faible consommation d'énergie, d'une configuration flexible et d'une petite taille en fait une solution intéressante partout où un capteur électrochimique doit être utilisé.

[1] https://www.diabetes.co.uk/diabetes-prevalence.html
[2] https://www.precedenceresearch.com/continuous-glucose-monitoring-device-market

Au-delà des sciences médicales, les capteurs électrochimiques sont idéaux pour détecter des gaz toxiques dans les applications industrielles ou pour mesurer la pollution et la qualité de l'air dans les applications environnementales. Ils utilisent une réaction chimique entre le gaz cible et une électrode, générant un courant électrique proportionnel à la concentration de gaz spécifiée. Les capteurs électrochimiques de 20 mm sont très répandus et sont disponibles pour plusieurs gaz toxiques, notamment le monoxyde de carbone, le sulfure d'hydrogène et les oxydes d'azote et de soufre, et de plus ils sont interchangeables entre eux. Ces capteurs sont utilisés dans un large éventail d'applications, allant des capteurs de qualité de l'air en milieu urbain aux applications agricoles intelligentes pour le suivi de la croissance des plantes.

De même, les capteurs électrochimiques, tels que les capteurs potentiostat ou les capteurs de corrosion, sont cruciaux dans des environnements tels que les laboratoires, les exploitations minières et la production de matériaux. Ils constituent des outils importants pour fournir un retour d'information au sein des systèmes de production et gérer les substances dangereuses, garantissant ainsi la sécurité des opérations.

En quête d’un rendement et d’une efficacité de production accrus, la production alimentaire s’est également tournée vers les capteurs électrochimiques. Dans ce domaine, des appareils portables et des automatismes plus importants sont déployés pour le contrôle de la qualité des aliments, afin de garantir le goût et d'identifier les détériorations, les allergènes ou les produits chimiques dangereux.

Les solutions onsemi pour la mesure électrochimique

Des capteurs basés sur des mesures électrochimiques sont facilement disponibles et onsemi en comprend le potentiel inexploité. Des soins de santé et de la surveillance de la glycémie aux applications environnementales plus larges, onsemi fournit une solution complète conçue pour augmenter la fiabilité, la précision et améliorer l'expérience utilisateur des dispositifs médicaux portables.

La solution associe le AFE CEM102 pour la mesure électrochimique en continu et le microcontrôleur intelligent RSL15 d'onsemi, le microcontrôleur Bluetooth® Low Energy 5.2 le plus économe de l'industrie.

L'intégration transparente et la collaboration efficace des deux composants, ainsi que leurs tailles compactes et leurs efficacités énergétiques de pointe, jouent un rôle crucial dans la réduction de la taille des appareils et dans la garantie de leur fonctionnalité sur le long terme – un facteur essentiel pour les solutions alimentées par batterie.

La solution est soutenue par une gamme complète de supports de développement, de micrologiciels et de logiciels, notamment des applications de démonstration iOS® et Android™ (Figure 4). Il existe également une carte d'évaluation CEM102 complète avec des exemples de code pour configurer et effectuer des mesures avec le CEM102, ce qui facilite le démarrage du développement sur le système. Cette offre combinée est conçue pour

rationaliser le développement et promouvoir une plus grande intégration et innovation pour la prochaine génération de technologies de capteurs ampérométriques.

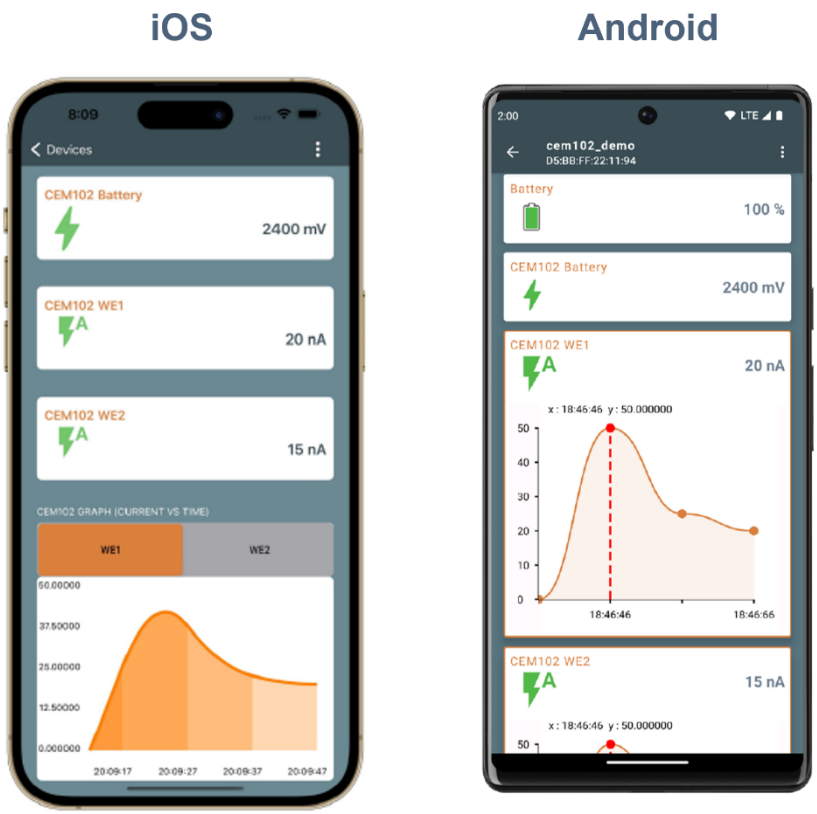

Figure 4 – Exemples d'écrans de l'application de démonstration onsemi, conçue pour fonctionner avec la carte d'évaluation CEM102 (Source : onsemi)

En fonctionnement, le rôle du CEM102 est de connecter le réseau de capteurs au traitement numérique. Il est chargé de conditionner le capteur en appliquant les signaux nécessaires aux électrodes et en garantissant une mesure précise à partir du réseau de capteurs, tandis que le RSL15 connecte le capteur aux réseaux Bluetooth LE sans-fil (Figure 5).

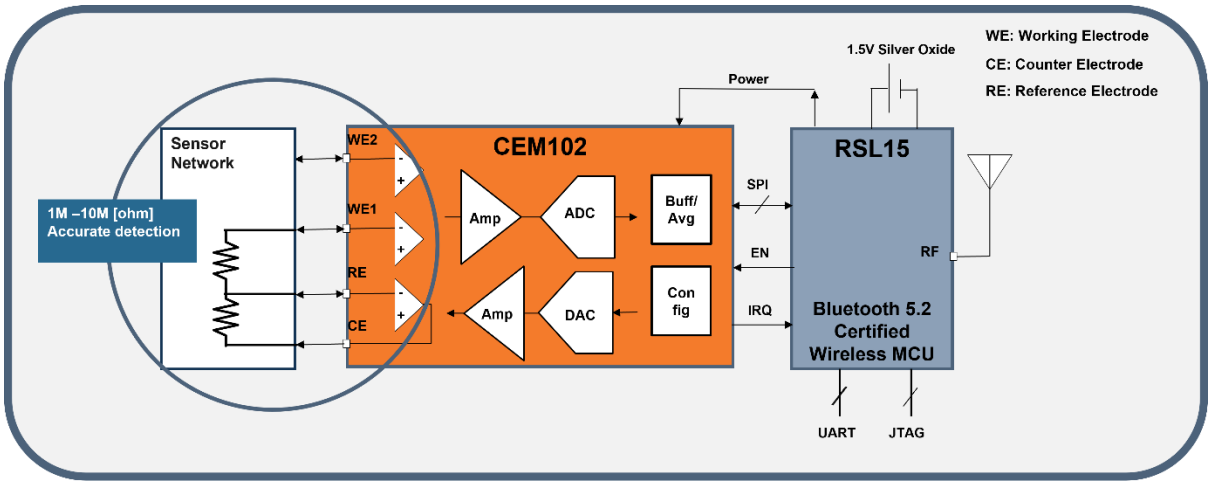

Figure 5 – La solution combinée CEM102 + RSL15 d'onsemi permet une détection électrochimique sans fil (Source : Onsemi)

La solution combinée d'onsemi offre une plus grande précision, une réduction du bruit et une faible consommation d'énergie par rapport aux solutions séparées. De plus, il permet de simplifier la nomenclature (*bill of materials*, BoM), accroît la flexibilité de la configuration, facilite l'étalonnage et réduit la complexité de fabrication, libérant ainsi des ressources de développement.

Faire progresser la recherche scientifique

Les mesures précises fournies par les capteurs électrochimiques constituent un outil essentiel pour faire progresser les connaissances scientifiques. En examinant attentivement des facteurs tels que les niveaux de glucose, les chercheurs peuvent obtenir des informations précieuses sur les maladies chroniques comme le diabète. Ces connaissances peuvent améliorer notre compréhension et accélérer l'innovation, pour le plus grand bénéfice d'une partie importante de la population mondiale.

Pour l'utilisateur final, en tirant parti des avantages de solutions telles que CEM102 + RSL15 d'onsemi, il est possible de développer des dispositifs électroniques déportés de pointe plus petits, mieux connectés, ayant une durée de vie plus longue et plus abordables, tout en s'adaptant de manière transparente aux personnes qui dépendent de la CGM. Cela peut permettre aux concepteurs de créer des solutions ayant un plus grand impact, car elles aident les utilisateurs à gérer plus efficacement leur consommation de glucose, à minimiser les risques liés au diabète et à acquérir une compréhension plus complète de leur santé.

De plus, onsemi et ses solutions électrochimiques présentent des opportunités de collaboration avec des institutions universitaires et des laboratoires de recherche, favorisant des environnements propices à une exploration et une expérimentation rigoureuse. Grâce à ces collaborations, les chercheurs peuvent stimuler l'innovation et repousser les frontières de la compréhension scientifique.

Conclusion

Dans le monde de l'électronique en constante évolution, les entreprises ont besoin de solutions pionnières qui non seulement redéfinissent les attentes, mais permettent également de réduire les délais de commercialisation et d'accroître la flexibilité pour ouvrir la voie à de nouvelles applications. Grâce à sa solution combinée, le CEM102 + RSL15 d'onsemi contribue à atteindre cet objectif, en offrant aux entreprises non seulement un avantage concurrentiel, mais surtout la possibilité d'améliorer le bien-être des autres.

Des soins de santé à distance, à la surveillance environnementale et à la sécurité industrielle, les capteurs électrochimiques répondent à un large éventail d'applications et ont un impact significatif sur la société. Cependant, le potentiel de cette polyvalence va bien au-delà des applications actuelles. Grâce au soutien et à la collaboration en matière de fabrication, les capteurs électrochimiques peuvent contribuer à faire progresser la recherche et à améliorer la compréhension dans le domaine médical et au-delà. Le développement continu des technologies intelligentes, ainsi que des technologies complémentaires telles que l'IA et l'apprentissage automatique, entraîneront l'influence croissante des capteurs électrochimiques sur nos vies, ce qui se traduira par l'émergence de nouvelles innovations et la résolution efficace de nombreux défis mondiaux de longue date.

ENDS

March 2024 ONSAR3184