Abstract

Recent advances in micro electromechanical systems (MEMS) techniques enable us to attain low-loss 3-D radio frequency (RF) and microwave systems, such as rectangular co-axial lines (RCL) or (rectacoax) with air as dielectric. Different types of fabrication processes have evolved; some have been commercialized, such as Polystrata™, EFAB™. Good rectangular coaxial lines can be achieved by using a simple surface micromachining process, with standard lithography, but at the cost of several lithographic steps, which makes it more challenging. As both the EFAB™ and Polystrata™ processes are well-established company has patented one, and from a device point of view are disadvantageous in terms of large size and a complex fabrication method.

This dissertation discusses the development of a high-frequency 3-D MEMS transmission line, which is the first of its kind, and high gap out-of-plane actuators for high-frequency applications by using a facile surface micromachining process. In this work, we fabricated a semi-coax line on a glass substrate with a smaller number of lithographic steps. The transmission line design is suitable for both on-chip and off-chip transmission lines and shows good performance till 100 GHz. The semi-coax design shows low loss and performance approaching that of a full-air dielectric rectacoax. The three-sided coated SU-8 conductor has a very low electric field in the SU-8, so the design reduces dielectric loss even in a poor dielectric like SU-8. This obviates the need for suspended lines, which have reliability issues. A semi-coax line with a characteristic impedance of 37-41 Ω has been fabricated on a Borofloat glass substrate with copper conductors. The line characteristics have been measured from 1 to 100 GHz and showed the attenuation constant of 0.42 dB/mm at 97.5 GHz for semi-coax. The design is particularly well-suited for applications within the V and W band frequency ranges, demonstrating its potential for advanced high-frequency applications.

For a complete RF integrated system, we do need switches with good isolation at higher frequencies, and for that, we need high gap actuators. For actuating high gap actuators, Lorentz force actuation is the better option as it gives a larger force than electrostatic. An out-of-plane microactuator driven by the Lorentz force achieves a good vertical stroke on a low-resistivity silicon wafer. The actuator was made up of electroplated copper having a thickness of 1-1.2 µm. A deflection of approx. 4 µm has been achieved with the magnetic flux density of 0.45 T and applied current of 1.4 A. The vertical deflection has a linear dependence on the driving current because the Lorentz force is proportional to both the driving current and the magnetic field.

An out-of-plane buckled actuator using a lithographically pre-shaped beam. The beam is engineered to have an in-plane curvature, but a smaller cross-sectional area, and the Euler stress in the transverse direction plays a crucial part. When the beam is actuated in-plane, it buckles out of plane. Subsequently, it behaves like an out-of-plane buckled structure. A large vertical deflection of 5-5.5 µm has been achieved with the magnetic flux density of 0.40T and pulse current of 350 mA for 20ms. This method obviates the need for greyscale lithography or adding stress to a beam to make it buckle out of plane.

An integrated magnetic flux concentrator (MFC) for achieving a large gap out-of-plane actuation is fabricated and demonstrated, which drastically reduces the power consumption for operating the device. A deflection of approx.3.5 µm is achieved with an applied pulse of 20 mA. Integrated MFC reduces the current drawn by approximately 7.2 times, which is approximately 50 times reduction in power consumption, in comparison to the beam without MFC.

When taken as a whole, these findings solve many of the major obstacles to the development of low-cost integrated mm-wave electronics by using a facile micromachining process.

सार

माइक्रो इलेक्ट्रोमैकेनिकल सिस्टम (MEMS) तकनीकों में हालिया प्रगति हमें कम–हानि वाली 3–डी रेडियो फ्रीक्वेंसी (RF) और माइक्रोवेव सिस्टम, जैसे कि आयताकार को–एक्सियल लाइन्स (RCL) या (रेक्टाकोक्स) प्राप्त करने में सक्षम बनाती है, जिसमें वायु को परावैद्युत के रूप में उपयोग किया जाता है। विभिन्न प्रकार की निर्माण प्रक्रियाएँ विकसित हुई हैं; कुछ का व्यवसायीकरण भी हुआ है, जैसे कि पॉलीस्ट्रेटा™, EFAB™। मानक लिथोग्राफी के साथ एक सरल सतह माइक्रोमशीनिंग प्रक्रिया का उपयोग करके अच्छी आयताकार कोएक्सियल लाइनें प्राप्त की जा सकती हैं, लेकिन इसके लिए कई लिथोग्राफिक चरणों की आवश्यकता होती है, जो इसे और अधिक चुनौतीपूर्ण बनाता है। चूँकि EFAB™ और पॉलीस्ट्रेटा™ दोनों प्रक्रियाएँ सुस्थापित हैं, कंपनियों ने इनमें से एक का पेटेंट कराया है, और उपकरण के दृष्टिकोण से, बड़े आकार और जटिल निर्माण विधि के संदर्भ में ये दोनों प्रक्रियाएँ नुकसानदेह हैं।

यह शोध प्रबंध एक उच्च–आवृत्ति 3–डी एमईएमएस ट्रांसमिशन लाइन के विकास पर चर्चा करता है, जो अपनी तरह की पहली है, और एक सरल सतह माइक्रोमशीनिंग प्रक्रिया का उपयोग करके उच्च–आवृत्ति अनुप्रयोगों के लिए उच्च अंतराल वाले आउट–ऑफ–प्लेन एक्ट्यूएटर्स पर चर्चा करता है। इस कार्य में, हमने कम संख्या में लिथोग्राफिक चरणों के साथ एक ग्लास सब्सट्रेट पर एक सेमी–कोएक्स लाइन का निर्माण किया। ट्रांसमिशन लाइन डिज़ाइन ऑन–चिप और ऑफ–चिप दोनों ट्रांसमिशन लाइनों के लिए उपयुक्त है और 100 गीगाहर्ट्ज तक अच्छा प्रदर्शन दिखाती है। सेमी–कोएक्स डिज़ाइन कम हानि और पूर्ण–वायु ढांकता हुआ रेक्टाकैक्स के करीब प्रदर्शन दिखाता है। तीन–तरफा लेपित SU–8 कंडक्टर में SU–8 में बहुत कम विद्युत क्षेत्र होता है, इसलिए डिज़ाइन SU–8 जैसे खराब ढांकता हुआ में भी ढांकता हुआ नुकसान कम करता है रेखा विशेषताओं को 1 से 100 GHz तक मापा गया है और अर्ध–कोएक्स के लिए 97.5 GHz पर 0.42 dB/mm का क्षीणन स्थिरांक दर्शाया गया है। यह डिज़ाइन विशेष रूप से V और W बैंड आवृत्ति श्रेणियों के अनुप्रयोगों के लिए उपयुक्त है, जो उन्नत उच्च–आवृत्ति अनुप्रयोगों के लिए इसकी क्षमता को प्रदर्शित करता है।

एक पूर्ण RF एकीकृत प्रणाली के लिए, हमें उच्च आवृत्तियों पर अच्छे पृथक्करण वाले स्विच की आवश्यकता होती है, और इसके लिए हमें उच्च अंतराल वाले एक्चुएटर्स की आवश्यकता होती है। उच्च अंतराल वाले एक्चुएटर्स को एक्चुएटेड करने के लिए, लोरेन्ट्ज़ बल एक्चुएशन बेहतर विकल्प है क्योंकि यह इलेक्ट्रोस्टैटिक की तुलना में अधिक बल देता है। लोरेन्ट्ज़ बल द्वारा संचालित एक आउट–ऑफ–प्लेन माइक्रोएक्चुएटर कम प्रतिरोधकता वाले सिलिकॉन वेफर पर एक अच्छा ऊर्ध्वाधर स्ट्रोक प्राप्त करता है। एक्चुएटर 1–1.2 μm मोटाई वाले इलेक्ट्रोप्लेटेड तांबे से बना था। 0.45 T के चुंबकीय फ़्लक्स घनत्व और 1.4 A की आरोपित धारा के साथ 4 μm प्राप्त किया गया है। ऊर्ध्वाधर विक्षेपण चालक धारा पर रैखिक रूप से निर्भर करता है क्योंकि लोरेंत्ज़ बल चालक धारा और चुंबकीय क्षेत्र दोनों के समानुपाती होता है।

लिथोग्राफिक रूप से पूर्व–आकारित किरणपुंज का उपयोग करके एक समतल–बाहरी बकल्ड एक्ट्यूएटर। किरणपुंज को समतल–आंतरिक वक्रता, लेकिन एक छोटे अनुप्रस्थ काट क्षेत्रफल के लिए डिज़ाइन किया गया है, और अनुप्रस्थ दिशा में यूलर प्रतिबल एक महत्वपूर्ण भूमिका निभाता है। जब किरणपुंज समतल–आंतरिक रूप से सक्रिय होता है, तो यह समतल से बाहर बकल हो जाता है। इसके परिणामस्वरूप, यह समतल–बाहर बकल्ड संरचना की तरह व्यवहार करता है। 0.40T के चुंबकीय फ़्लक्स घनत्व और 20ms के लिए 350 mA की स्पंद धारा के साथ 5–5.5 μm का एक बड़ा ऊर्ध्वाधर विक्षेपण प्राप्त किया गया है। यह विधि ग्रेस्केल लिथोग्राफी या किरणपुंज को समतल से बाहर बकल करने के लिए उस पर प्रतिबल जोड़ने की आवश्यकता को समाप्त करती है।

एक बड़े अंतराल वाले आउट–ऑफ–प्लेन एक्चुएशन को प्राप्त करने के लिए एक एकीकृत चुंबकीय फ़्लक्स सांद्रक (MFC) का निर्माण और प्रदर्शन किया गया है, जो उपकरण के संचालन के लिए बिजली की खपत को काफी कम कर देता है। 20 mA के लागू पल्स से लगभग 3.5 μm का विक्षेपण प्राप्त होता है। एकीकृत MFC, खींची गई धारा को लगभग 7.2 गुना कम कर देता है, जो कि MFC रहित बीम की तुलना में बिजली की खपत में लगभग 50 गुना कमी है।

कुल मिलाकर, ये निष्कर्ष एक सरल माइक्रोमशीनिंग प्रक्रिया का उपयोग करके कम लागत वाले एकीकृत mm–तरंग इलेक्ट्रॉनिक्स के विकास में आने वाली कई प्रमुख बाधाओं का समाधान करते हैं।