

XV. ВЫСОКОЧАСТОТНЫЕ ПРИМЕНЕНИЯ

Интегрированные индукторы в РЧ –области. Микроиндукторы для DC-DC конверторов. ВЧ тонкопленочный сенсор магнитного поля.

В качестве высокочастотных материалов используются магнитомягкие материалы, которые находят самые разные применения: в интегрированных пассивных элементах [1-4], устройствах подавления электромагнитных шумов [5], сенсорах [6,7] и т.д. в РЧ диапазоне, особенно в области 0.8 – 6 ГГц. Из всех возможных применений мы остановимся только на некоторых.

Материалы могут быть подразделены по их комплексной магнитной проницаемости, $\mu = \mu' + i\mu''$. Высокое значение μ' и $\mu'' = 0$ идеальны для интегрированных магнитных тонкопленочных индукторов, преобразователей и СВЧ магнитопроводов для монолитных микроволновых интегральных схем (MMIC – monolytic microwave integrated circuits), где магнитные пленки могут улучшить степень функциональности чипа посредством увеличения эффективности связей, уменьшения размеров и уменьшения потерь.

Низкое значение μ' и высокое значение μ'' требуются для интегрированных схем подавления электромагнитных шумов. Роль магнитной пленки в этом случае заключается в том, чтобы не повысить вносимые потери в полосе пропускания, но дать максимальное ослабление и исключить шумовые гармоники в режектируемой области частот выше области частот сигнала.

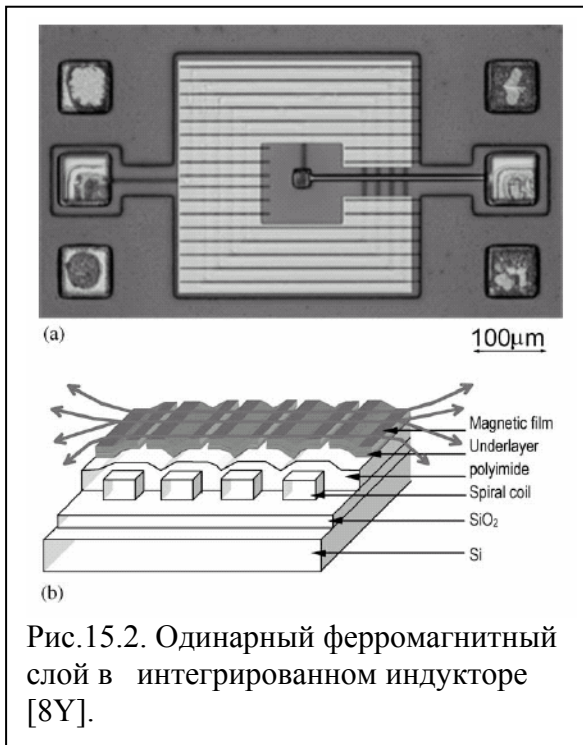
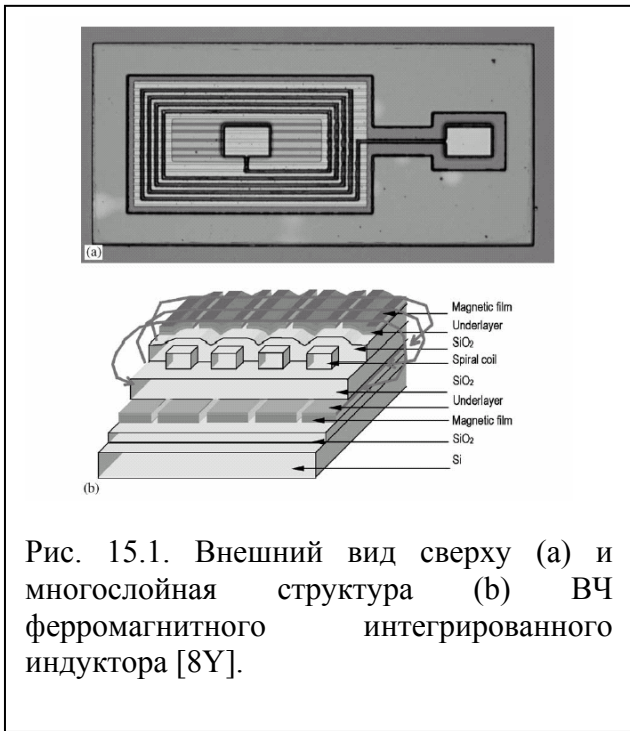
Высокое значение $|\mu| = (\mu'^2 + \mu''^2)^{1/2}$ и чувствительность к внешнему магнитному полю требуется для сенсоров магнитного поля, особенно для высокочастотных сенсоров.

Интегрированные индукторы в РЧ –области.

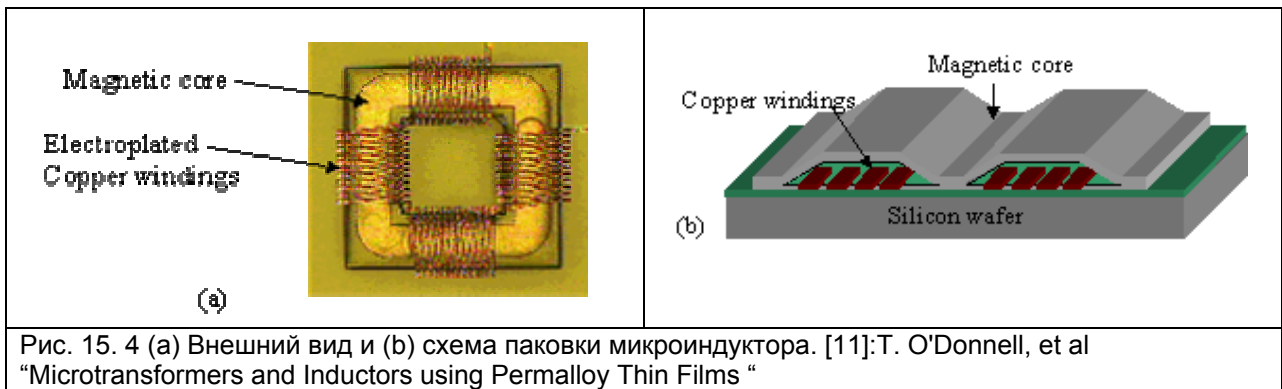
В настоящее время резко возрос спрос на беспроводные средства коммуникации. Одним из главных направлений является разработка тонкопленочных и многослойных индукторов радиочастотных (РЧ) схем высокоуровневой интеграции с высоким коэффициентом добротности (Q).

Активно ведутся исследования и разработки схем, использующих спиральные индукторы на кремниевой подложке. Q-фактор в большинстве примеров со спиральными индукторами в Гц-ном диапазоне, однако, оказывается ниже 10.

На рис. 15.1 показан внешний вид сверху (а) и многослойная структура (b) ВЧ ферромагнитного интегрированного индуктора [8]. На подложку из высокоомного Si ($\rho > 500 \Omega\text{см}$), покрытую тонким слоем SiO_2 , последовательно наносят слой ферромагнетика, медного спирального индуктора (на рис.15.1, 4 витка меди сечением $8 \times 3 \text{ мкм}^2$) и второй слой ферромагнетика. Таким образом, катушка заключена между двумя слоями ферромагнетика (аморфная пленка $0.1 \text{ мкм Co}_{85}\text{Nb}_{12}\text{Zr}_3$). Для повышения частоты ферромагнитного резонанса искусственно создается магнитная анизотропия формы, путем профилирования пленки в виде полос вдоль оси легкого намагничения [9.20Y], т.е. в виде плоских микронитей, шириной 7 мкм и расстоянием между ними около 4 мкм. В такой конфигурации индуктивность составляла $L = 7.9 \text{ нГн}$. Ферромагнитные слои повышали индуктивность на 19% и Q-фактор на 23% по сравнению с воздушными катушками при частотах до 2 ГГц. Одинарный ферромагнитный слой, рис. 14.2, увеличивает индуктивность в диапазоне частот до 5 ГГц.



Различные варианты микроиндукторов изображены на рис. 15.3-15.5.



Микроиндукторы для DC-DC конверторов

Развитие индустрии микропроцессоров с их непрерывным уменьшением размеров и

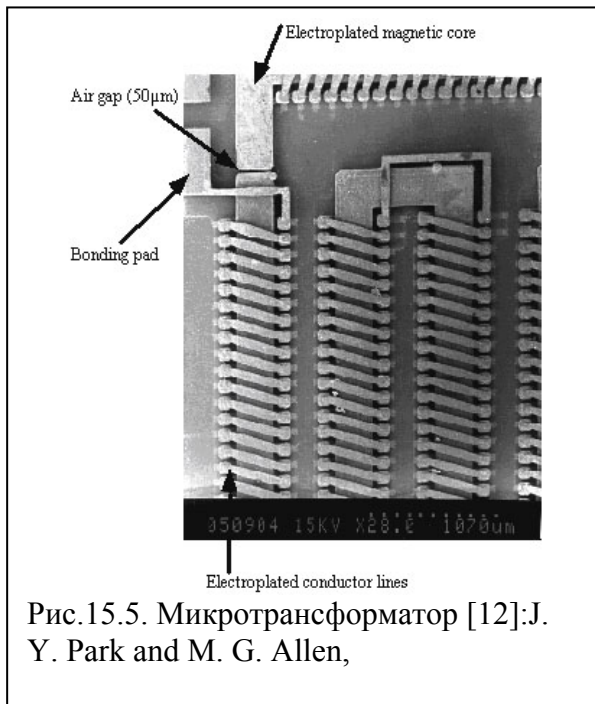


Рис.15.5. Микротрансформатор [12]:J. Y. Park and M. G. Allen,

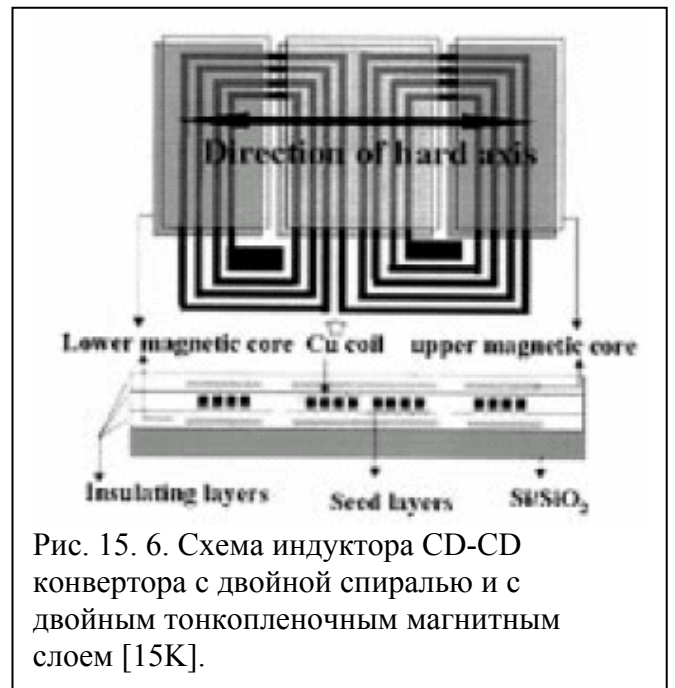


Рис. 15. 6. Схема индуктора CD-CD конвертора с двойной спиралью и с двойным тонкопленочным магнитным слоем [15K].

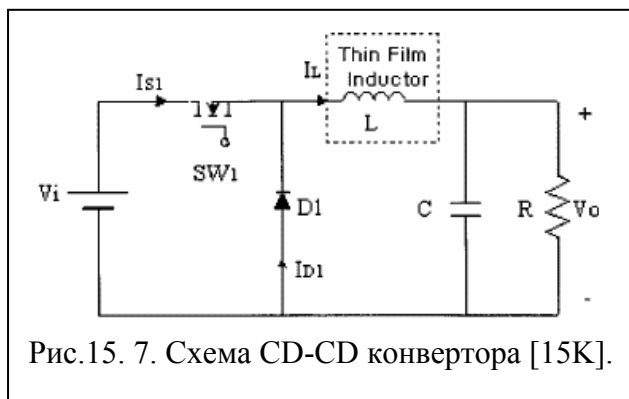


Рис.15. 7. Схема CD-CD конвертора [15K].

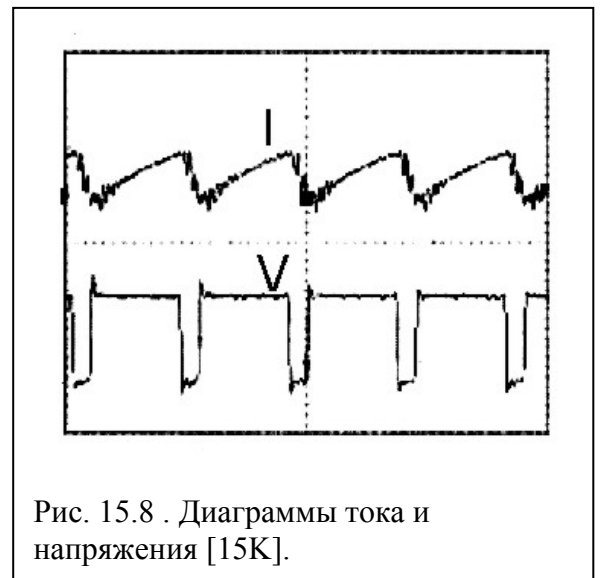
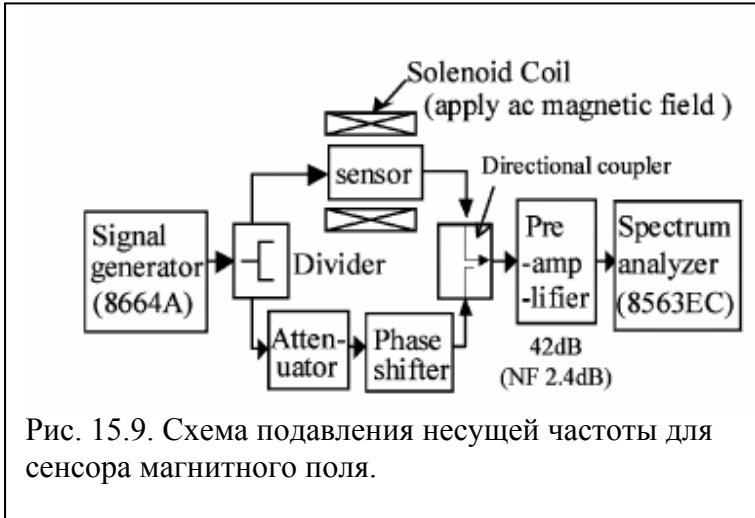


Рис. 15.8 . Диаграммы тока и напряжения [15K].

увеличением функциональности требует адекватного развития функциональности источников питания микропроцессоров при уменьшении их габаритов. Одно из направлений разработок – совершенствование конверторов постоянного напряжения или DC-DC конверторов с увеличением выходного тока при уменьшении напряжения. Это в свою очередь требует разработки микроиндукторов с обмотками низкого сопротивления и низкой индуктивности. Миниатюризация индуктора достигается использованием высокой частоты [13.[2]M, 14N, 15B]. На рис.14.6 показана схема индуктора с двойной спиралью и двойным магнитным слоем, предназначенным для DC-DC конвертора [16K]. Радиотехническая схема и диаграммы переключающего напряжения и тока через обмотку индуктора I_L изображены на рис. 15.7 и 15.8. Q-фактор такой схемы составляет всего лишь около $Q = 5$ на частоте 10 МГц, эффективность трансформации - около 80%.

ВЧ тонкопленочный сенсор магнитного поля.

Большие перспективы применения имеют высокочастотные тонкопленочные сенсоры магнитного поля с несущей частотой или, т.н. GMI (giant magnetic impedance) сенсоры [9,17.М-19.25У]. При условии, что процесс намагничивания является идеальным процессом вращения (а не смещением стенок доменов), и что электронные цепи свободны от электронного шума, максимум чувствительности будет определяться тепловыми флуктуациями магнитного момента, что при комнатной температуре составляет порядка 10^{-7} А/м (10^{-9} Э). Электронный шум также ограничен тепловым шумом и составляет порядка -174 дБ м.



При детектировании переменного (AC) -поля наиболее сильным электронным шумом является фазовый шум, повышающий уровень шумов в боковых частотах. В качестве контрмеры с помощью параллельной по отношению к сенсору контр-схемы подавляется несущая частота [19.25]. При этом подавляется несущая частота сенсорного выхода, когда внешнее поле отсутствует. С помощью этого метода уже детектируются магнитные AC-поля с разрешением 7.2×10^{-6} А/м (9.0×10^{-8} Э) [20.26К].

Схема одного из предлагаемых вариантов изображена на рис. 15.9 [8Yam04]. Схема включает спектральный анализатор (8563EC), генератор сигналов (8664A), аттенюатор, фазовращатель (phase shifter), разветвитель мощности (divider), направленный смеситель (directional coupler), предусилитель (preamplifier), спектральный анализатор (8563EC) и, собственно, сенсорный элемент, имеющий размеры 50 мм x 5 мм x 1мм и ламинированную слоистую структуру [CoNbZr(0.5 nm)/Nb(5 nm)/CoNbZr(0.5 nm)] [17.7Mo]. Сенсор помещен в магнитный экран экранирующий DC и низкочастотные магнитные поля с фактором -90дБ.

Ссылки

1. M. Yamaguchi, K. Suezawa, K.I. Arai, S. Kikuchi, W.D. Li, Y. Shimada, S. Tanabe, K. Ito, J. Appl. Phys. 85 (1999) 7919.
2. D. Gardner, A.M. Crawford, Shan Wang, Proceedings of the 2001 IEEE IITC, 2001, p. 101.
3. I. Fergen, K. Seemann, A. v. d. Weth, A. Schuppen, Proceedings of the First Joint European Magnetic Symposia, TU-A1-I1, 2001.
4. H.-J. Kim, Proceedings of the Korea ReCAMM Joint Symposium, Japan Ari EC, 2001.
5. M. Yamaguchi, K.-H. Kim, T. Kuribara, K.I. Arai, Thin-Film RF Noise Suppressor Integrated in a Transmission Line, *IEEE Trans. Magn.* 38 (2002) 3183.
6. K. Tan, M. Yamaguchi, K. Yamanaka, K. Ouchi, K.I. Arai, *IEEE Trans. Magn.* 37 (2001) 2004.
7. M. Yamaguchi, H. Kikuchi, S. Sugimoto, K.I. Arai, M. Iwanami, A. Nakamura, S. Hoshino, Proceedings of the IEEE 10th Topical Meeting on Electrical Performance of Electronic Packaging, 2001, p. 321.
8. M. Yamaguchi, Y. Miyazawa, K. Kaminishi, H. Kikuchi, S. Yabukami, K.I. Arai, T. Suzuki, Soft magnetic applications in the RFrage, *JMMM*, **268** (2004) 170
9. [20] M. Yamaguchi, et al *IEEE Trans. Magn.* **36** (2000) 3495.
10. Ind рис.14.3
11. T. O'Donnell, et al "Microtransformers and Inductors using Permalloy Thin Films "
12. J. Y. Park and M. G. Allen, "Integrated Electroplated Micromachined Magnetic Devices using Low Temperature Fabrication Processes", IEEE Transactions on Components, Packaging, and Manufacturing Technology (IEEE CPMT-part C), 1997
13. [2] Y. Matsuo, M. Kitaoka, and F. Nakao, *J. Mag. Soc. Jpn.*, vol. 24, no. 4-2, p. 831, 2000.
14. F. Nakao, K. Yamada, M. Kitaoka, Y. Matsuo, and H. Sakamoto, *IEEE Trans. Magn.*, 2002, V. 38, NO. 5, p. 3332

15. M. Brunet et al, Electrical Performance of Microtransformers for DC–DC Converter Applications, *IEEE Tran. Magn.***38** (2002) 3174.
16. K.H. Kim et al, *IEEE Trans Magn.*, v.38 (2002) 3162
17. K. Mohri, T. Kohzawa, K. Kawashima, H. Yoshida, L.V. Panina, *IEEE Trans. Magn.* 28 (1992) 3150.
18. [24] M. Takezawa, H. Kikuchi, M. Yamaguchi, K.I. Arai, *IEEE Trans. Magn.* 36 (2000) 3664.
19. [25] S. Yabukami, T. Suzuki, N. Ajiro, H. Kikuchi, M. Yamaguchi, K.I. Arai, *IEEE Trans. Magn.* 37 (2001) 2019.
20. [26] S. Kikuchi, S. Yabukami, M. Yamaguchi, K.I. Arai, T. Suzuki, *J. Magn. Soc. Jpn.* 26 (2002) 562.
21. T. Kuribara, M. Yamaguchi, and K.-I. Arai, Equivalent Circuit Analysis of an RF Integrated Ferromagnetic Inductor, *IEEE Tran. Magn.***38** (2002) 3159.