

Nb₃Ge 超伝導薄膜の作製

Preparation of Nb₃Ge superconducting thin films

情通機構¹, 国立天文台²

○川上 彰¹, 寺井弘高¹, 鶴澤佳徳²

NICT¹, NAOJ²,

○A. Kawakami¹, H. Terai¹, Y. Uzawa²

E-mail: kawakami@nict.go.jp

超伝導 SIS ミキサは、極薄トンネル障壁を二つの超伝導電極で挟んだ構造を基に、電極間に流れるトンネル電流の強い非線形性を利用した優れたミキサ素子である。しかしその構造に起因する比較的大きな接合容量から、動作周波数帯での同調回路が不可欠である。従来から多くの同調回路には超伝導薄膜が低損失材料として使用されてきた。その結果、超伝導転移温度(T_C)に起因するギャップ周波数(fg)が、ミキサ動作上限周波数を決める主要因となっている。ニオブ(Nb)の fg は約 725 GHz、窒化ニオブ(NbN)を用いても約 1.38 THz である。この解決手段として更に高い T_C の超伝導材料の利用が考えられるが、単に高 T_C だけでなく、微細加工が容易、結晶異方性の有無、良好な電気的接続の確保など、現行の素子作製プロセスへの導入に配慮する必要がある。そこで本研究では A15 型結晶構造を有する Nb₃Ge 薄膜を検討している。Nb₃Ge は最高で $T_C \sim 23$ K を示し、 fg は 2 THz に達すると考えられる[1]。また明確な結晶異方性が無く、フッ素系ガスによる反応性エッチングも容易などメリットが多い。 T_C 以上の抵抗率も NbN より低い約 30 $\mu\Omega\text{cm}$ が報告されており[2]、良好な低損失特性が期待できる。

成膜方法として膜組成制御の自由度が高い多元同時スパッタ法を採用した。図 1 にその概略図を示す。同装置の成膜室は 3 つの 3 インチマグネトロンカソードと基板表面クリーニング用アルゴン(Ar)イオンビーム源を有している。これらは全て一カ所の試料ホルダーに向けて配置しており、各々独立して投入電力を設定することで薄膜の組成比を自由に決定できる。ターゲット材料として Nb, Ge, そして添加により低温合成が期待できる Si を用意した[3]。まず室温にて各材料の膜重量速度を独立して測定、モル成膜速度に換算した。ここで DC スパッタ法を採用することで、成膜速度と投入電力とは比例関係にあると仮定、投入電力を設定した。表 1 に各元素におけるモル成膜速度を示す。この結果を基に当初 Nb₃Ge 薄膜成膜を実施、Nb:Ge=3:1 付近を実現する投入電力(Nb: 300 W, Ge: 32~48 W)を算出した。Ar ガス圧は 2.7 Pa に設定、表面クリーニング後 30 分間成膜した。基板には A 面サファイア基板を用い、基板加熱ヒーター設定温度は 920 °C とした。

図 2 に Ge 印加電力 44 W における Nb₃Ge 薄膜の XRD パターン(a)及び R-T 特性(b)を示す。

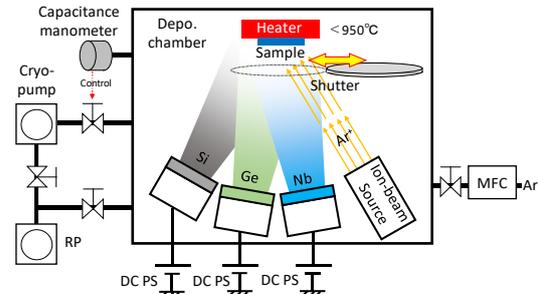
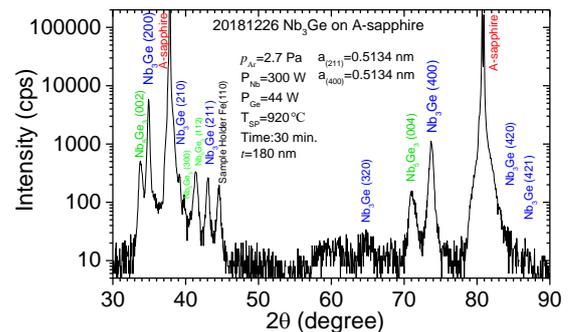


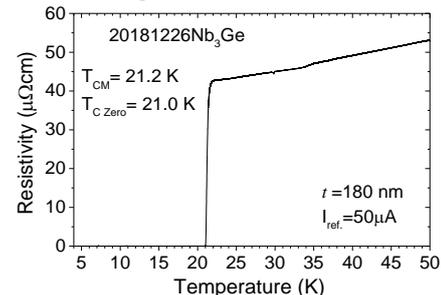
Fig. 1 Schematic of multi-source sputtering system.

TABLE I DC-SPUTTERING DEPOSITION

Sputtering Gas	Ar 2.7 Pa (100cc/min.)
Depo. Rate	
Nb	2.1×10^{-12} [mol min ⁻¹ mm ⁻² W ⁻¹]
Ge	4.3×10^{-12} [mol min ⁻¹ mm ⁻² W ⁻¹]
Si	2.1×10^{-12} [mol min ⁻¹ mm ⁻² W ⁻¹]



(a) XRD pattern of the Nb₃Ge thin film



(b) R-T curve of the Nb₃Ge thin film

Fig. 2 The properties of fabricated Nb₃Ge thin films (Ge:44 W)

Nb₃Ge のピークと共に Nb₅Ge₃ のピークが観測された。JCPDS 粉末データと比較した結果、格子定数はほぼ同じ約 0.513 nm, (001)配向傾向の強い薄膜であった。膜厚は約 180 nm, $T_{C\text{Zero}} \sim 21.0$ K, 抵抗率 $\rho_{25\text{K}} \sim 45 \mu\Omega\text{cm}$ であった。

【参考文献】[1]中川愛彦, 真空, 第 22 巻, 第 1 号, 1-8, (1979). [2] K. E. Kihlstrom et al., *J. Appl. Phys.* Vol. 53, No. 12, 8907, (1982). [3]寺田教男, 直江正彦, 応用物理, 54, 230, (1985).